

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E FITOTÉCNICAS DO ALGODOEIRO À
LUMINOSIDADE E À ELEVADA TEMPERATURA NOTURNA**

FÁBIO RAFAEL ECHER

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP

Agosto de 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E FITOTÉCNICAS DO ALGODOEIRO À
LUMINOSIDADE E À ELEVADA TEMPERATURA NOTURNA**

FÁBIO RAFAEL ECHER

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP

Agosto de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

E18r Echer, Fábio Rafael, 1983-
Respostas fisiológicas e fitotécnicas do algodoeiro à luminosidade e à elevada temperatura noturna / Fábio Rafael Echer. - Botucatu : [s.n.], 2012
xvi, 127 f. : gráfs. color., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Ciro Antonio Rosolem
Inclui bibliografia

1. Abscisão (Botânica). 2. Algodão - Espaçamento. 3. Fotossíntese. 4. Idade da folha. 5. Plantas - Respiração. 6. Polinização. 7. Produtividade agrícola. 8. Sombreamento. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

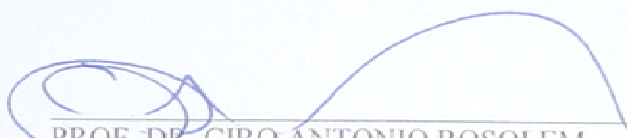
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E FITOTÉCNICAS DO ALGODOEIRO A
LUMINOSIDADE E A ELEVADA TEMPERATURA NOTURNA

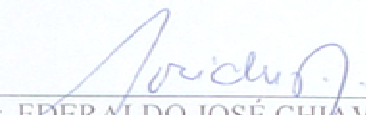
ALUNO: FÁBIO RAFAEL ECHER

ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

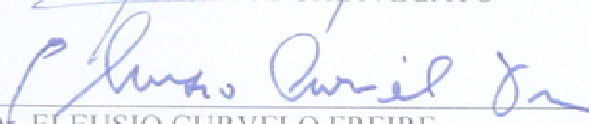
Aprovado pela Comissão Examinadora



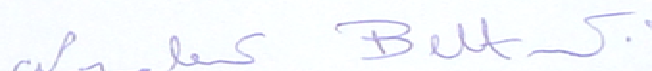
PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM



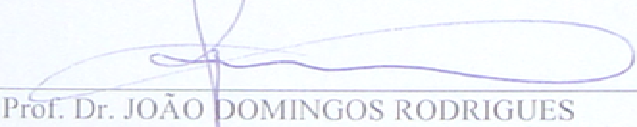
Prof. Dr. EDERALDO JOSÉ CHIAVEGATO



Prof. Dr. ELEUSIO CURVELO FREIRE



Prof. Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO



Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES

Data da Realização: 24 de agosto de 2012.

In memoriam á minha Nona, Carmina Moss Ecker, uma das grandes mulheres da minha vida, e que sempre foi um dos meus grandes exemplos de perseverança.

DEDICO

Aos meus familiares e amigos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Á Deus.

Á minha mãe, Edilse Dill, por todos os ensinamentos e por sempre acreditar em meu potencial. Aos meus irmãos, Maico, Michel e Fausto e meu pai, Nelson Echer pela amizade, apoio e ajuda.

Á Universidade Estadual Paulista – Unesp e Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) pela oportunidade de estudar em uma Universidade de alta qualidade.

Á Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela concessão da Bolsa de Doutorado no País e pela Bolsa Sandwich durante o estágio nos Estados Unidos da América.

Ao Professor Doutor Ciro Antonio Rosolem pela excelente orientação, paciência e dedicação durante o curso.

Á coordenação do Programa de Pós- Graduação em Agricultura pela eficiência no atendimento às questões administrativas.

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Agricultura pelos ensinamentos em suas respectivas áreas de estudo, em especial ao Professor Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela amizade construída.

Á minha esposa Gracielle Oliveira Echer, por todo amor, carinho e apoio dedicados á mim. Também, pela parceria e disponibilidade de mudança durante a realização do estágio no exterior.

Ao Professor Doutor Derrick M. Oosterhuis pela excelente recepção e orientação no Laboratório de Fisiologia de Algodão, na Universidade do Arkansas, Fayetteville – USA.

Aos estagiários Rafael Werle, Izaiás Lisboa, Talita Silva e Jesaelen Moraes, por toda ajuda concedida na realização dos experimentos.

Aos amigos, Júlio César Bogiani (Grampola), Gustavo S.A. Castro (Spirro), Jayme Ferrari Neto (Magrão), Maurício A. C. Mancuso (Taiada), André Giorgeti (Godo), Cláudio H. Martins (China), Gustavo Castoldi (Gay), Laércio Pivetta (Mucuna), Laerte Pivetta, Ewerton Gasparetto (Indiã), Lucas Perim (Mamão), pela amizade, pela excelente convivência, pelas mateadas e pelos belos momentos de futebol arte na quadra de esportes da FCA.

Aos colegas de laboratório em Fayetteville, Dimitra Loka, Toby Fitzsimons, Justin Philips, Duyen Nguyen, Tyla Pretorius e Cristiane Pilon. Aos amigos Tyson Raper e Rachel Raper pelo apoio e pela amizade durante nossa estadia em Fayetteville.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal-Agricultura (Vera, Lana, Valéria, Dorival) e aos funcionários do setor de campo (Célio, Casimiro, “Cidão”, “Fio”, Mateus e Camargo) pela essencial contribuição nas atividades, sejam administrativas ou técnicas do experimento.

Aos funcionários da biblioteca e da seção de Pós Graduação, pela atenção e serviços prestados.

À Mônica Rosolem, pelos ensinamentos da Língua Inglesa e, sobretudo pela amizade, simpatia e carinho com que sempre me tratou.

Ao Instituto Mato-Grossense do Algodão pela parceria e pelo financiamento de um dos experimentos em Primavera do Leste, MT. À fazenda Campo Bom, de Chapadão do Céu-GO, por cederem a área e pelo auxílio na condução do experimento. Ao Grupo Scholten e ao gerente da Fazenda Antônio, por terem cedido área para realização do experimento em Paranapanema, SP.

Aos alunos do Departamento de Botânica do IBB, Luchele Sirtoli, Amanda Amaro e Ana Cláudia Macedo pelo auxílio nas medições de trocas gasosas.

Aos alunos de pós-graduação do Departamento de Ciências Ambientais. Eduardo Nardini, Júnior e Fábio e ao professor João Francisco Escobedo pelo auxílio na instalação e na interpretação dos dados climáticos.

Aos membros da banca, Doutores João Domingos Rodrigues, Napoleão Esberard Macêdo Beltrão, Ederaldo José Chiavegato e Eleusio Curvêlo Freire pelas contribuições.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
1 RESUMO.....	11
2 ABSTRACT	13
3. INTRODUÇÃO	15
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4.1 Luminosidade e o algodoeiro	16
4.2 Efeito da elevada temperatura noturna.....	21
5. MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1 Ambiente Safra em Paranapanema - São Paulo, 2009/2010.....	25
5.2 Ambiente Safrinha em Primavera do Leste - Mato Grosso, 2011.....	28
5.3 Ambiente Safrinha em Chapadão do Céu - Goiás, 2011.	32
5.4. Respostas fisiológicas do algodoeiro à idade da folha e ao sombreamento em casa de vegetação, FCA/Unesp Botucatu.	33
5.5. Trocas gasosas em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa e do sombreamento.....	36
5.6. Efeito da idade da folha e da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa nas trocas gasosas da planta	37
5.7 Altas temperaturas noturnas no desenvolvimento reprodutivo do algodoeiro.....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1 Ambiente Safra em Paranapanema - São Paulo, 2009/2010.....	42
6.2 Ambiente Safrinha em Primavera do Leste - Mato Grosso, 2011.....	57
6.3 Ambiente Safrinha em Chapadão do Céu- Goiás, 2011.	66
6.4 Respostas fisiológicas do algodoeiro à idade da folha e ao sombreamento.	78
6.5 Trocas gasosas em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa e do sombreamento.	84

6.6 Efeito da idade da folha e da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa nas trocas gasosas da planta	88
6.7 Efeito da alta temperatura noturna nos estádios fenológicos de botão floral e florescimento	95
7 CONCLUSÕES.....	109
8 REFERÊNCIAS	110
9 APÊNDICE	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Radiação global e fotossinteticamente ativa (PAR) acumulada durante os 7 dias de sombra em cada estágio	Erro! Indicador não definido.	7
Tabela 2. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de acordo com o pré-condicionamento, condição na avaliação e idade da folha.....		36
Tabela 3. Temperatura diurna e noturna nos tratamentos com alta temperatura noturna (A) e normal (N), Fayetteville, AR. 2010-2011.		38
Tabela 4. Valores de P>F para as variáveis capulhos de primeira posição (P1), de segunda posição (P2), de terceira ou maior (P3+) e capulhos total de acordo com a fonte de variação.....		42
Tabela 5. Componentes de produção e produtividade do algodão em função da época de aplicação da sombra.....		49
Tabela 6. Qualidade intrínseca da fibra de acordo com a época de incidência da sombra com redução de 50% na luminosidade.		53
Tabela 7. Produtividade do algodoeiro, massa de um capulho e rendimento de fibra de acordo com o espaçamento de cultivo, Holambra, SP, Safra 2009/2010.....		55
Tabela 8. Qualidade intrínseca da fibra de acordo com o espaçamento de cultivo, Holambra, SP, Safra 2009/2010.		56
Tabela 9. Valores de P>F para as variáveis capulhos de primeira posição (P1), de segunda posição (P2), de terceira ou maior (P3+) e capulhos total de acordo com a fonte de variação.....		57
Tabela 10. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro em função do espaçamento de cultivo.....		64
Tabela 11. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro de acordo com a época da incidência da sombra.....		65
Tabela 12. Características intrínsecas da fibra de acordo com o espaçamento de cultivo.		65
Tabela 13. Características intrínsecas da fibra de acordo com a época de incidência da sombra.		66

Tabela 14. Valores de $P > F$ para as variáveis capulhos de primeira posição (P1), de segunda posição (P2), de terceira ou maior (P3+) e capulhos total de acordo com a fonte de variação.....	67
Tabela 15. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro cultivado nos espaçamentos de 0,45 e 0,90m.	72
Tabela 16. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro de acordo com a época de incidência da sombra.....	74
Tabela 17. Características intrínsecas da fibra de acordo com o espaçamento de cultivo.	75
Tabela 18. Características intrínsecas da fibra de acordo com a época de incidência da sombra.	77
Tabela 19. Número de flores emitidas e de estruturas abortadas por planta ao final do experimento, 66 dias após a emergência, em razão do aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas durante as fases de botão floral (B1) e do início do florescimento (F1).	102
Tabela 20. Componentes de produção do algodoeiro ao final do experimento (66 DAE e 3 semanas após o início do florescimento) em razão do aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas durante as fases de botão floral (B1) e do início do florescimento (F1).	103
Tabela 21. Viabilidade do pólen em tratamentos com alta temperatura noturna (ATN) ao final da terceira semana do estágio B1 e F1, e número de sementes por lóculo e por maçã do algodoeiro.....	105

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas e graus-dia acumulados durante a condução do experimento, Paranapanema, 2009/2010.....26
- Figura 2. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas e graus-dia acumulados durante o ciclo de crescimento do algodoeiro, Primavera do Leste – MT, 2010/2011.29
- Figura 3. Radiação global e PAR durante a condução do experimento.30
- Figura 4. Energia acumulada em cada tratamento, experimento safrinha. O estágio fenológico B1 não possui valores devido a perda das medições com a substituição dos sensores.....30
- Figura 5. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas e graus-dia acumulados durante o ciclo de crescimento do algodoeiro, Chapadão do Céu, Goiás, 2011.....32
- Figura 6. Temperaturas máximas e mínimas durante a condução do experimento em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da FCA/Unesp Botucatu – SP. As setas indicam as datas de semeadura dos experimentos 5.4; 5.5 e 5.6, nessa ordem.35
- Figura 7. Número de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) de acordo com o espaçamento de cultivo e época de sombreamento. O número ao lado da barra indica o número total de capulhos. As linhas sobre as barras representam a diferença mínima significativa ($P>0.05$). A cor da linha é a cor correspondente à posição do capulho, sendo a da cor preta para o número total de capulhos.44
- Figura 8. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-10), terço médio (nós 11-16) e ponteiro (nós 16-20) das plantas cultivadas nos espaçamentos de 0,48 m (a); 0,75 m (b) e 0,96 m (c). Dms P1, P2 e P3+, 5,3; 3,9 e 1,4 respectivamente. O valor ao lado da barra indica o número total de capulhos ($P1+P2+P3+$) em cada parte do dossel.....47
- Figura 9. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-10), terço médio (nós 11-16) e ponteiro (nós 16-20) das plantas sombreadas em B1, F1, F7 e C3 e não sombreadas (SS). Dms P1, 6,91. Não significativo para P2 e P3+. O valor ao lado da barra indica o número total de capulhos ($P1+P2+P3+$) em cada parte do dossel.....48

- Figura 10. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro (sexta folha mais jovem completamente expandida) em tratamentos com sombra e sem sombra em cada fase fenológica. Letras minúsculas comparam estádios fenológicos (dentro de cada tratamento – mesma cor) e letras maiúsculas comparam os tratamentos sombreados e não sombreados. LSD(■) 3.27(P>0.01); LSD(■) 3.32(P>0.01); LSD(B1) 3.66(P>0.06); LSD(F1) 3.20(P>0.01); LSD(C3) 2.99(P>0.20)..... 51
- Figura 11. Fotossíntese, condutância estomática e DFFFA nos tratamentos com sombra e sem sombra. LSD 1.87(P>0.01); 0.04(P>0.05); 178 (P>0.01) para a fotossíntese, condutância estomática e densidade de fótons fotossinteticamente ativa, respectivamente. 52
- Figura 12. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro cultivado nos espaçamentos de cultivo de 0,48; 0,75 e 0,96 m. As médias são resultados de avaliações tomadas nas fases B1, F1 e C3 na sexta folha mais jovem completamente expandida. a>b pelo teste t (LSD). Dms 2.33(P>0.01). 56
- Figura 13. Número de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) de acordo com o espaçamento de cultivo e época de sombreamento. O número ao lado da barra indica o número total de capulhos. Dms Espaçamento: 5,41; 1,78; 0,60 e 11,01 para P1, P2, P3+ e número total de capulhos. Época da Sombra: não significativo para P1, P2, P3+ e capulhos total. 58
- Figura 14. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas cultivadas nos espaçamentos de 0,48 m (a) e 0,76 m (b). Dms P1, P2 e P3+, 5,3; 3,9 e 1,4 respectivamente. O valor ao lado da barra indica o número total de capulhos (P1+P2+P3+) em cada parte do dossel. 61
- Figura 15. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas sombreadas em B1, F1, F7 e C3 e não sombreadas (SS). Dms 8,60; 2,82; 0,96 e 9,37 (ns) para P1, P2, P3+ e capulhos total, respectivamente. 63
- Figura 16. Número de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) de acordo com o espaçamento de cultivo e época de sombreamento. O número ao lado da barra indica o número total de capulhos. Dms Espaçamento: 5,03; 2,03; 1,36 e 6,54 para P1, P2, P3+ e número total de capulho, respectivamente. Época da Sombra: não significativo para P1, P2, P3+ e capulhos total. 68
- Figura 17. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas sombreadas em B1, F1, F7 e C3 e não sombreadas (SS). Não significativo. 70

- Figura 18. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas sombreadas em B1, F1, F7 e C3 e não sombreadas (SS). Dms 7.26; 2,30; 0.68 (ns) e 8.21 para P1, P2, P3+ e capulhos total, respectivamente.71
- Figura 19. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro de acordo com a sua idade, submetidas ao pré-condicionamento (com sombra($\triangle$) ou não ($\blacktriangledown$) durante 4 dias antes da avaliação) e á condição no momento da avaliação (com sombra ($\circ$) ou sem sombra ($\bullet$)). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 6.32(0.03).*Significativo á 1%.79
- Figura 20. Condutância estomática de folhas do algodoeiro de acordo com a sua idade, submetidas ao pré-condicionamento (com sombra ($\triangle$) ou não ($\blacktriangledown$) durante 4 dias antes da avaliação) e á condição no momento da avaliação (com sombra ($\circ$) ou sem sombra ($\bullet$)). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 0.45 (ns). Não significativo.81
- Figura 21. Concentração intercelular de CO₂ de folhas do algodoeiro de acordo com a sua idade, submetidas ao pré-condicionamento (com sombra ($\triangle$) ou não ($\blacktriangledown$) durante 4 dias antes da avaliação) e á condição no momento da avaliação (com sombra ($\circ$) ou sem sombra ($\bullet$)). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%. Diferença mínima significativa (Teste t de Student): 27 (0.05).82
- Figura 22. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro de acordo densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa, previamente sombreadas ($\bullet$) ou mantidas á luz ($\circ$). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%,durante 4 dias que precederam a avaliação Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 2.06 (0.01).**Significativo á 1%.84
- Figura 23. Condutância estomática de folhas do algodoeiro de acordo densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa, previamente sombreadas ($\bullet$) ou mantidas á luz ($\circ$). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%, durante 4 dias que precederam a avaliação Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 0.02 (0.01).**Significativo á 1%.87
- Figura 24. Concentração intercelular de CO₂ de folhas do algodoeiro de acordo densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa, previamente sombreadas ($\bullet$) ou mantidas á luz ($\circ$). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%, durante 4 dias que precederam a avaliação Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 46.40 (0.01).**Significativo á 1%.88
- Figura 25. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro com 15 ($\bullet$), 30 ($\circ$), 45 ($\blacktriangledown$) ou 60 dias ($\triangle$) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 3.06 (0.01). Significativo á 1%.89

- Figura 26. Ponto de compensação de luz de acordo com a idade da folha. As equações de regressão são as mesmas apresentadas na Figura 25. 90
- Figura 27. Condutância estomática em folhas do algodoeiro com 15 (●), 30 (○), 45 (▼) ou 60 dias (△) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 0.06 ($p > 0.01$). Significativo á 1%. 91
- Figura 28. Concentração intercelular de CO_2 em folhas do algodoeiro com 15 (●), 30 (○), 45 (▼) ou 60 dias (△) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 50.79 (barra vertical) (não significativo) 93
- Figura 29. Taxa de transpiração das folhas do algodoeiro com 15 (●), 30 (○), 45 (▼) ou 60 dias (△) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 2.42 ($p > 0.01$). 94
- Figura 30. Taxa respiratória de folhas do algodoeiro ao final da primeira (SI), segunda (SII) e terceira semana (SIII) do período de estresse nos estádios de botão floral e florescimento. $A > B$ pelo t de Student. $\text{LSD}(P > F)$ botão floral: 0.18(0.01) e $\text{LSD}(P > F)$ florescimento: 0.24(0.04). 95
- Figura 31. Fotossíntese líquida de folhas do algodoeiro ao final da primeira (SI), segunda (SII) e terceira semana (SIII) do período de estresse nos estádios de botão floral e florescimento. $A > B$ pelo t de Student. $\text{LSD}(P > F)$ botão floral: 2.10(0.01) 97
- Figura 32. Efeito da temperatura na eficiência quântica do fotossistema II (ΦPSII) em folhas do algodoeiro submetidas ao pré-condicionamento com alta temperatura noturna (29°C) e controle (24°C) ao final da terceira semana de estresse no estágio de botão floral. As folhas foram iluminadas á uma intensidade de $500 \mu\text{mol fótons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e incubadas á temperaturas de 25 a 40°C por 5 minutos a cada temperatura antes da avaliação da eficiência quântica do PSII. $\text{LSD}(P > F)$: 0.01(0.04) 98
- Figura 33. Efeito da temperatura na eficiência quântica do fotossistema II (ΦPSII) em folhas do algodoeiro submetidas ao pré-condicionamento com alta temperatura noturna (ATN) (29°C) e controle (24°C) ao final da terceira semana de estresse no estágio de florescimento. Após o fim do estresse de três semanas no tratamento ATN em B1, as plantas foram movidas para a temperatura controle. As folhas foram iluminadas á uma intensidade de $500 \mu\text{mol fótons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e incubadas á temperaturas de 25 a 40°C por 5 minutos a cada temperatura antes da avaliação da eficiência quântica do PSII. $\text{LSD}(P > F)$: 0.024 (não significativo). 99
- Figura 34. Número de flores brancas emitidas por planta de algodão em função do tempo após o aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas, a partir do início da fase de botão floral (ATN em B1) e do início do florescimento (ATN em F1). As setas indicam o período do início ao fim do estresse em cada estágio fenológico.

Alta temperatura noturna foi de 29 °C e de 24°C para o tratamento controle. As linhas horizontais representam a taxa média final de emissão de flores por planta.

..... 100

Figura 35. Número de estruturas reprodutivas abortadas (botão floral, flor ou fruto) por planta de algodão em função do tempo após o aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas, a partir do início da fase de botão floral (ATN em B1) e do início do florescimento (ATN em F1). As setas indicam o período do início ao fim do estresse em cada estágio fenológico. Alta temperatura noturna foi de 29 °C e de 24°C para o tratamento controle. As linhas horizontais representam a taxa média final de abscisão de estruturas reprodutivas por planta. 102

Figura 36. Teor de amido e carboidratos não estruturais na folha adjacente e na flor do algodoeiro submetido aos tratamentos com alta temperatura noturna (29°C por 4 horas) e controle (24°C) durante três semanas, a partir do aparecimento do primeiro botão floral. DMS: 0.005112 ($P>0.04$). 106

Figura 37. Teor de amido e carboidratos não estruturais na folha adjacente e na flor do algodoeiro submetido aos tratamentos com alta temperatura noturna (29°C por 4 horas) e controle (24°C) durante três semanas, a partir do aparecimento da primeira flor. DMS glicose: 0.002756 ($P>0.04$). DMS frutose: 0.000701 ($P>0.02$). 107

1 RESUMO

O algodoeiro é considerado um dos fotossistemas mais complexos entre as plantas cultivadas, com alta demanda por luminosidade. A hipótese foi de que o efeito do sombreamento sobre a produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro depende da sua época de incidência e da população de plantas. Foram conduzidos experimentos em Paranapanema-SP (espaçamentos de 0,48; 0,75 e 0,96 m); Primavera do Leste – MT (espaçamentos de 0,45 e 0,76 m) e Chapadão do Céu – GO, (espaçamentos de 0,45 e 0,90 m). A redução da luz incidida foi de 50%, durante 7-10 dias, no início de cada estágio fenológico: B1 (1º botão floral), F1 (1ª flor), F7 (1ª flor no 7º nó), C3 (1º capulho no 3º nó) e o controle sem sombra. O efeito da idade da folha e do sombreamento foi avaliado em casa de vegetação na FCA/Unesp em Botucatu, SP, sendo construídas curvas de resposta das trocas gasosas à densidade de fótons em função da idade da folha; do sombreamento em função da idade da folha e do sombreamento em função da densidade de fótons. Não houve interação do espaçamento com a época de incidência da sombra sobre a produtividade e na qualidade da fibra, pois as folhas mais velhas, da parte inferior do dossel, necessitam de menos luz para atingirem a saturação luminosa. A sombra reduziu o potencial fotossintético da folha e o seu efeito foi maior que a diminuição causada pela idade da folha. Folhas jovens sombreadas não recuperaram a sua capacidade fotossintética, mesmo após receberem fluxo crescente de fótons.

O aumento da temperatura noturna diminuiu o conteúdo de carboidratos disponíveis aos frutos, entretanto o estágio fenológico que é mais sensível não está definido. Objetivou-se

avaliar o efeito da alta temperatura noturna sobre componentes fotossintéticos e de produção do algodoeiro nas fases de botão floral e florescimento. O experimento foi conduzido em câmaras de crescimento, na Universidade do Arkansas, em blocos ao acaso com 10 repetições. Os tratamentos foram o controle (32/24°C) e alta temperatura noturna (32/29°C – das 20 às 24 h), durante três semanas, a partir do início de cada fase fenológica. O aumento da temperatura noturna durante a fase de botão floral aumentou a respiração das plantas, reduziu o conteúdo de sacarose na flor e, como consequência, diminuiu a viabilidade do pólen, causando abortamento prematuro das estruturas reprodutivas. Isso atrasa o período de florescimento e resulta em menor acúmulo de matéria seca reprodutiva.

Palavras-chave: produtividade, fotossíntese, idade da folha, espaçamento, sombreamento, respiração, viabilidade do pólen, abscisão.

Cotton physiological and agronomic responses to light and high night temperature. Botucatu, 2012, p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Fábio Rafael Echer

Adviser: Ciro Antonio Rosolem

2 SUMMARY

Cotton plant, as a C3 photosynthetic mechanism, is extremely dependent of good conditions of luminosity. The hypothesis was that the effect of shading on yield and fiber quality depends on shading stage and plant population. Three sets of experiments were conducted in the field, one in Paranapanema, SP, during a normal growing season (row width of 0.48, 0.75 and 0.96 m); the second in Primavera do Leste - MT, as a second crop (0.45 and 0.76 m) and last one in Chapadão do Céu - GO, also as a second crop (0.45 and 0.90 m). The row width ranged from 0.45 to 0.96 m, and shading periods were B1, F1, F7, C3, and a control treatment. The reduction of incident light was 50% for 7 days in Paranapanema and 10 days in Chapadão do Céu and Primavera do Leste. The greenhouse experiments were conducted in Botucatu, SP. Curves of gas exchange response to photon density as a function of leaf age were fitted, also the effect of shading as a function of leaf aging and shading as a function of photon density were investigated. There was no significant interaction between row spacing and shading periods on cotton yield and fiber quality in any of the three sets of field experiments, because the oldest leaves of the lower canopy, require less light to reach the light saturation point. Shading reduced leaf photosynthetic potential and its effect was greater than the decrease caused due to leaf aging. Young leaves shaded did not recover their photosynthetic capacity, even after increasing photon flux density.

Increasing high night temperatures has been reported to decrease the content of available carbohydrate to cotton fruits, however the phenological stage which is more sensitive to this effect has not been defined. The objective of this study was to evaluate the effect of high night temperature on the carbohydrate content, photosynthetic and yield components at squaring and flowering. The experiment was conducted in growth chambers at the University of Arkansas, Fayetteville, in blocks with 10 replications. The experiment was replicated once. Treatments were control (32/24° C day/night temperatures) and high night temperature (32/29 ° C – from 20h to 00h) for three weeks from the onset of each phenological phase. Increasing night temperature during squaring increased plant respiration, reducing sucrose content in the flower and consequently decreasing pollen viability, causing pre-mature abortion of reproductive structures, delaying the flowering period, as well as lower reproductive dry matter accumulation.

Key words: yield, photosynthesis, leaf age, row spacing, shading, respiration, pollen viability, shedding.

3. INTRODUÇÃO

O algodoeiro, assim como outras espécies de mecanismo de fixação de carbono C3, tem baixa eficiência fotossintética comparado com as plantas do tipo C4, com elevada taxa de fotorrespiração. Em função disso, e por ter a enzima de carboxilação de baixa afinidade pelo CO₂ (MAGALHÃES, 1979), o algodoeiro apresenta elevado ponto de compensação, entre 60 e 120 µL L⁻¹ CO₂ (KRIZEK, 1986). Em agroecossistemas tropicais a fotorrespiração pode atingir taxas de 6,5 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹ com temperaturas da ordem de 35°C, o que representa 43% da fotossíntese líquida e 30% da fotossíntese bruta (PERRY et al, 1983). Fatores ambientais tais como a temperatura, luminosidade, altitude, o ângulo de disposição das folhas e o teor de CO₂ na atmosfera são determinantes do potencial produtivo do algodoeiro (LOOMIS; WILLIAMS, 1963; ASHLEY et al., 1965), mas não podem ser economicamente controlados ou são de difícil controle. A perda da capacidade fotossintética devido à diminuição da luminosidade ou do envelhecimento da folha limita o suprimento adequado de fotoassimilados para o crescimento e desenvolvimento normal do fruto, e em situações de sombreamento excessivo pode resultar em aborto de óvulos e abscisão de frutos (PETTIGREW, 1994; STEWART, 1986).

A temperatura é outro fator ambiental que regula o acúmulo de fitomassa no algodoeiro, com valores ótimos para a atividade enzimática, germinação, crescimento, desenvolvimento radicular e vegetativo, florescimento e produção de fibra em torno dos 28 °C ± 3 °C (BURKE; WANJURA, 2010). Com o aumento da temperatura acima

do ótimo aumenta a taxa de abscisão de frutos e a esterilização de flores (TAHA et al., 1981), podendo haver também atrasos no início da antese (HESKETH et al., 1972). Altas temperaturas, superiores a 32 °C podem ocorrer durante o período de florescimento e de desenvolvimento dos frutos em muitas regiões produtoras de algodão ao redor do mundo, como nos Estados Unidos da América e em alguns estados brasileiros (Bahia e norte do Mato Grosso), e isso pode comprometer a fixação de flores, a produtividade e a qualidade da fibra produzida (REDDY et al., 2004). Gipson e Ray (1969) mostraram que as temperaturas noturnas possuem maior efeito do que as temperaturas diurnas sobre o florescimento do algodoeiro, e Loka e Oosterhuis (2010) observaram que altas temperaturas noturnas aumentaram a respiração das plantas, reduzindo o conteúdo de ATP, com perdas severas no conteúdo de carboidratos nas folhas do algodoeiro.

A hipótese foi de que a diminuição da quantidade de luz incidente e o auto-sombreamento reduzem a taxa fotossintética líquida das folhas do algodoeiro, sobretudo em altas densidades de plantas, prejudicando a produtividade e a qualidade de fibras. Nesta condição, a diminuição da taxa fotossintética causada pela idade da folha seria menos importante que o sombreamento. Além disso, a elevação da temperatura noturna aumenta a respiração, diminuindo a disponibilidade de carboidratos para a formação dos frutos, e o efeito depende do estágio fenológico em que a planta é submetida às elevadas temperaturas noturnas.

Objetivou-se com este trabalho: 1. avaliar a influência do sombreamento provocado pelo adensamento e pelo sombreamento artificial sobre os componentes de produção, a produtividade e a qualidade da fibra do algodoeiro, e o efeito da idade da folha e do sombreamento sobre as trocas gasosas; 2. estudar o efeito de temperaturas noturnas elevadas sobre características fisiológicas e bioquímicas durante as fases de botão floral e florescimento do algodoeiro.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Luminosidade e o algodoeiro

O crescimento vegetal ocorre devido à absorção de água e de nutrientes e pela interceptação da radiação solar, via captação direta da luminosidade do sol ou da luz difusa na atmosfera. A interceptação e a distribuição da luz no dossel vegetal são dependentes das taxas de crescimento foliar absoluta, relativa e a longevidade da folha, que por sua vez afetam diretamente na área foliar total, determinando o índice de área foliar (IAF) e a duração da área foliar (MOTA, 1976). No algodoeiro com folhas do tipo “normal”, a interceptação e a distribuição da radiação solar, especialmente no comprimento de onda que varia de 400-700 nm no dossel vegetal, é considerada ineficiente, devido à estrutura planofilar do dossel (HEARN, 1976). Além disso, assim como outras espécies de mecanismo de fixação de carbono C3 (ácido 3-fosfoglicérico, sendo este o primeiro produto estável após a redução do CO₂ no Ciclo de Calvin), o algodoeiro tem baixa eficiência fotossintética quando comparado às plantas do tipo C4, com elevada taxa de fotorrespiração (aproximadamente 38% da fotossíntese), que envolve a liberação de CO₂ na presença de luz, com consumo de oxigênio. Em função disso, e por ter a enzima de carboxilação de baixa afinidade pelo CO₂, pois ela também possui afinidade com o O₂ (MAGALHÃES, 1979), o algodoeiro apresenta elevado ponto de compensação de CO₂, entre 60 e 120 µL L⁻¹ (KRIZEK, 1986). Em agroecossistemas tropicais, com temperaturas da ordem de 35°C, especialmente em regiões áridas e semi-áridas, a fotorrespiração pode atingir taxas de 12 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹, o que representa 50% da fotossíntese líquida (KRIEG, 1986).

A luminosidade sofre um gradiente energético ao longo do dossel vegetal, devido à estrutura planofilar das folhas, sendo captada em maior quantidade pelas folhas superiores, restando pouca energia para as folhas do interior da copa e as da parte inferior da planta, conforme a lei de Beer:

$$I = I_0 e^{-KL}$$

onde:

I = intensidade da luz próximo ao solo, abaixo do dossel

e = base dos logaritmos naturais

I₀ = intensidade da luz acima do dossel

K = coeficiente de extinção de luz e

L = índice de área foliar.

Assim, o auto-sombreamento entre as folhas reduz a taxa de radiação fotossinteticamente ativa que penetra no dossel e atinge as folhas mais velhas da parte inferior da planta, representada pela seguinte equação, de acordo com Constable e Rawson (1980):

$$I' = 4,711 - 0,00068x^2 - 0,00528N + 0,000034x^2N$$

onde:

I' = fração de I que incide no topo do dossel vegetal

x = idade da folha e

N = posição do nó na planta.

Conforme aumenta o sombreamento como aumento do IAF há redução na fotossíntese e na taxa assimilatória líquida (BELTRÃO; AZEVÊDO, 1993). No trabalho de Muramoto et al. (1967) observou-se que as folhas quando sombreadas obtiveram sensível redução na taxa de fotossíntese, passando de 46 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ quando completamente iluminada para 27 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ quando densamente sombreada. O auto-sombreamento pode ainda acarretar o fechamento antecipado dos estômatos, pois quando a luminosidade é baixa a tendência é que os estômatos se fechem, diminuindo assim as trocas gasosas e a produção de fotoassimilados (HESKETH, 1968).

De acordo com Farbhother (1965) citado por Hearn (1976), a longevidade das folhas é de 56 dias em média, nas condições climáticas da África, podendo, entretanto, em condições ótimas, chegar até 70 dias (WULLSCHLEGER; OOSTERHUIS, 1990a), o que corresponde a uma limitação fisiológica muito importante, pois ocorre redução significativa da taxa fotossintética, passando de 50 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ em folhas de 1 a 2 dias após a expansão, para apenas 10 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ aos 46 dias de idade (MURAMOTO et al., 1967). A capacidade fotossintética das folhas do algodoeiro nos ramos simpodiais é máxima antes da antese, diminuindo rapidamente a seguir (WULLSCHLEGER; OOSTERHUIS, 1990a).

No entanto, as folhas novas, com altas taxas fotossintéticas, continuam o desenvolvimento, mas a taxa fotossintética do dossel, por unidade de área foliar, diminui significativamente com o envelhecimento da planta (PENG; KRIEG, 1991). De acordo com Wullschleger e Oosterhuis (1990a), durante o desenvolvimento do fruto, a folha oposta ao fruto tem baixa atividade fotossintética e recebe baixo fluxo de fótons (SASSENATH-COLE, 1995). A perda da capacidade fotossintética limita o suprimento adequado de fotoassimilados

para o desenvolvimento normal do fruto, e em situações de sombreamento excessivo pode resultar em aborto de óvulos e abscisão de frutos, devido á redução de carboidratos disponíveis (PETTIGREW, 1994; STEWART, 1986).

A perda da capacidade fotossintética pode ocorrer devido ao aumento do sombreamento das folhas da parte superior do dossel (PATTERSON, 1977). Pelo fato do algodoeiro apresentar hábito de crescimento indeterminado, variações na idade das folhas ocorrem coincidentemente com ajustes ás condições de sombreamento. O mecanismo fotossintético responde a essas variações luminosas no ambiente (intensidade e incidência na superfície foliar), na tentativa de otimizar a atividade fotossintética sob mudanças da luminosidade dentro do dossel vegetal, sendo que a habilidade das folhas para alterar o sistema fotossintético em resposta à luminosidade do ambiente depende do estágio de desenvolvimento do tecido (KRIEG, 1988).

Mudanças na eficiência fotossintética resultam do envelhecimento ou da senescência das folhas. Consequentemente, a perda da atividade fotossintética ocorre com o envelhecimento das folhas em combinação com a diminuição do teor de clorofila, observando-se um amarelecimento dos tecidos fotossintéticos e a degradação consecutiva e gradual dos cloroplastos, incluindo membranas, proteínas, estroma, enzimas e a perda da integridade do cloroplasto (WOOLHOUSE, 1987). Thayer et al.(1987) sugere que a senescência está ligada à competição entre órgãos pelo nitrogênio, particularmente durante a formação e armazenamento de reservas nas sementes.

A capacidade fotossintética, sob condições de luminosidade saturada, é representada pela máxima absorção de carbono pelas folhas, sendo essa a melhor medida do bom funcionamento do sistema fotossintético da folha (BURKEY; WELLS, 1991). De acordo com Ort e Baker (1988), a eficiência fotossintética em densidades de fluxo de fótons não saturadas é o maior fator limitante no desenvolvimento da cultura, e a taxa fotossintética diminui conforme o aumento da idade da folha (CONSTABLE; RAWSON, 1980) ou após a exposição á condições de estresse ambiental (SASSENATH-COLE; ORT, 1990). Assim, uma mudança na taxa de eficiência fotossintética pode limitar significativamente a absorção de carbono nas folhas baixas do dossel. Sassenrath-Cole et al. (1996) avaliaram a máxima taxa fotossintética das folhas de plantas de algodão sob condições de sombreamento e de diferentes idades e observaram que a incidência luminosa em diferentes níveis pouco afetou a máxima

taxa fotossintética, no entanto o principal fator responsável pela sua diminuição foi a idade das folhas, passando de aproximadamente $50 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 15 dias após o desdobramento da folha para menos de $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 65 dias.

Wullschleger e Oosterhuis (1990b) avaliaram a fotossíntese líquida das folhas em três posições da planta, e concluíram que para folhas do oitavo nó houve uma significativa diminuição da capacidade fotossintética conforme o aumento da idade da folha, comparado com folhas da parte superior do dossel (10 e 12º nó). Os mesmos autores verificaram que para folhas com idade inferior a 16 dias, a fotossíntese líquida e a condutância estomática do CO_2 foram controladas basicamente por fatores não relacionados à intensidade luminosa, enquanto que nas folhas velhas foram estritamente ligadas à processos mediados pela intensidade luminosa.

Baker e Meyer (1966) avaliaram a influência do IAF sobre a interceptação luminosa em plantas de algodão, e concluíram que as maiores taxas foram obtidas com IAF próximo de 3. Em IAF's acima de 3 houve estabilização, e diminuição da taxa de interceptação luminosa no IAF próximo de 4. Segundo Heitholt (1994), a interceptação da luz é menor na população de 5 plantas m^{-2} quando comparada com a de 10, 15 e 20 plantas m^{-2} , e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFA) aumenta quanto maior a população de plantas. Foi observado que na densidade de 10 plantas m^{-2} , para 90% da interceptação da DFFA, o IAF no espaçamento de 0,76 m deve ser de 3,5, enquanto que no convencional (0,90 a 1,0 m) o IAF é 4 para a mesma interceptação. Nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro, de acordo com Beltrão et al. (1986), o índice de área foliar deve ser igual a 2. Embora a diferença em relação ao IAF seja grande, deve-se considerar outros fatores que podem influenciar este índice, tais como: o porte da planta, as condições climáticas, a fertilidade do solo, entre outros. O sombreamento excessivo, provocado pelo adensamento de plantas, proporcionou perdas na massa do capulho, índice de sementes e fibra e número de sementes por capulho (FOWLER; RAY, 1977).

De acordo com Oosterhuis (1999), quedas de até 60% das estruturas reprodutivas do algodoeiro são consideradas normais, mas o índice de aborto de maçãs depende das condições climáticas e do grau de sombreamento. Quanto menor a incidência de luz e, conseqüentemente maior o sombreamento, maior é o índice de abortamento, devido à redução da fotossíntese provocar alta taxa de abscisão (KITTOCK et al., 1986), já que a queda

de maçãs é governada pelo balanço de açúcares produzidos no tecido foliar e o teor de etileno (ROSOLEM, 2006). Para Guinn (1974), uma redução na fotossíntese líquida/unidade de área foliar provocada pelo aumento da densidade de plantas pode explicar a redução da taxa de retenção de frutos. A abscisão de botões florais e de maçãs jovens é um fenômeno que tem ocorrência natural no algodoeiro.

Zhao e Oosterhuis (2000) avaliaram o efeito do sombreamento artificial promovido pela utilização de sombrite com 63% da redução da luminosidade durante oito dias em diferentes estádios de desenvolvimento do algodoeiro e concluíram que a sombra aplicada no estágio de “pinhead” (1º botão floral visível) não afetou o crescimento e a produtividade do algodoeiro. No entanto o sombreamento no estágio da primeira flor (FF), floração plena (PF) e desenvolvimento da maçã (BD) aumentou a abscisão de frutos e diminuiu a qualidade da fibra, especialmente o micronaire e o comprimento da fibra. Os mesmos autores verificaram ainda que a sombra em FF, PF e BD diminuiu a produtividade de fibra em 18, 34 e 52% em 1993 e em 18, 21 e 29% em 1994, respectivamente, em relação ao tratamento sem sombra.

O uso de altas populações de plantas pode afetar sobremaneira a produtividade do algodoeiro, já que a resposta da planta ao aumento da população de plantas apresenta-se em forma de parábola, com uma fase de aumento, chegando ao ponto máximo de produtividade, a partir do qual ocorre decréscimo da produtividade, pois ocorre a redução do número de ramos frutíferos (SILVA, 2002; BELTRÃO, 1999). Bednarz et al. (2000) observaram que em baixas populações de plantas, o algodoeiro apresentou maior retenção de maçãs, e isso resultou em maior produção por planta, no entanto, o número de capulhos e a produtividade por área não foram afetadas, pois o aumento da população de plantas compensou a queda individual das estruturas reprodutivas das plantas. Em estudos realizados por Galanopoulou-Sendouka et al. (1980), verificou-se que o aumento da população de plantas reduziu o crescimento e a produtividade individual. Porém, a produção por unidade de área foi maior, apesar da eficiência fotossintética das folhas terem diminuído, ocorrendo alta queda de maçãs.

4.2 Efeito da elevada temperatura noturna

A temperatura é um fator ambiental que regula a taxa de acúmulo de fitomassa e o desenvolvimento fenológico no algodoeiro. Os antepassados de variedades comerciais de algodoeiro são de origem tropical e naturalmente adaptadas ao crescimento e ao desenvolvimento em ambientes quentes. Por isso, as cultivares modernas atuais mantêm as temperaturas altas ótimas para o crescimento, que são características de seus progenitores (WENDEL et al., 2010). A temperatura ótima para a atividade enzimática, germinação, crescimento, desenvolvimento radicular, desenvolvimento vegetativo, florescimento e produção de pluma possui uma faixa de variação em torno dos $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (BURKE; WANJURA, 2010).

O desenvolvimento de ramos de frutíferos do cultivar de algodão do tipo Pela cv S-6 foi dependente da temperatura, uma vez que o número de ramos frutíferos aos 64 dias após a emergência aumentou de 4-5 á $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para 14-16 á $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Porém as temperaturas mais elevadas resultaram numa diminuição do número de ramos frutíferos, não havendo produção de ramos frutíferos numa temperatura de $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ (REDDY et al., 1995).

Hodges et al (1993) observou que o menor tempo para a emissão do primeiro botão floral do algodoeiro Delta Pine DES 119 foi a uma temperatura média diária do ar de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. O desenvolvimento, do período que vai do aparecimento do primeiro botão floral até a formação da flor é geneticamente programado para paralisar a uma temperatura de $14\text{ }^{\circ}\text{C}$. O tempo para a maturação dos frutos diminui com o aumento da temperatura, todavia o tamanho dos frutos também é afetado á temperaturas abaixo ou acima de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Reddy et al. (1995) mostraram que a taxa de desenvolvimento do algodoeiro “Pima” CV S-6 da emergência á emissão do primeiro botão floral foi maior á temperatura de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cerca de 43 dias foram necessários para formar um botão floral sob uma temperatura de $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto apenas 26 dias foram requeridos sob $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este estudo também mostrou que temperaturas acima de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ aumentam o tempo necessário para emissão do primeiro botão floral. O início e a duração da antese foram afetados de uma forma mais complexa, uma vez que houve atraso devido ás altas temperaturas diurnas quando as temperaturas noturnas também foram elevadas (HESKETH et al., 1972). Atrasos no início do florescimento devido ás temperaturas noturnas altas foram pouco minimizados pelas baixas temperaturas diurnas, mas não completamente. Considerando as temperaturas ideais em termos de manejo, seria importante que se tivesse moderadas a quentes durante o período de crescimento vegetativo, no entanto temperaturas

extremas durante o desenvolvimento reprodutivo podem reduzir substancialmente o potencial de frutificação (WELLS e STEWART, 2010).

Outra consequência de altas temperaturas, da ordem de 38 °C é a diminuição da fixação de frutos (aumento do *shedding*) e a esterilização de flores (TAHA et al., 1981), estando esses dois fatores relacionados um com o outro (POWELL, 1969).

Por outro lado, tem-se que a baixa porcentagem de fibras curtas em altas temperaturas pode ser relacionada com o aumento da disponibilidade de carboidratos para as fibras quando há poucas sementes por fruto (BRADOW e DAVIDONIS, 2010).

O número de sítios de frutificação aumentou linearmente com o aumento da temperatura até 40/32 °C, no entanto a retenção máxima de botões e de capulhos ocorreu na temperatura de 30/22 °C (REDDY et al., 1991). Essa resposta indica o efeito expressivo das altas temperaturas, especialmente das altas temperaturas noturnas sobre o desenvolvimento reprodutivo (GIPSON e JOHAM, 1968; REDDY et al, 1991). Mauney (1966) relatou que a menor quantidade de nós na haste principal no estágio de aparecimento do primeiro ramo frutífero ocorreu quando as temperaturas diurnas foram altas (28 a 32 °C) aliadas a temperaturas noturnas frias (20 a 22 °C)

Altas temperaturas, superiores a 32 °C podem ocorrer durante o período de florescimento e de desenvolvimento dos frutos em muitas regiões produtoras de algodão ao redor do mundo, como nos Estados Unidos da América e em alguns estados brasileiros (Bahia e norte do Mato Grosso), e isso pode comprometer a fixação de flores, a produtividade e a qualidade da fibra produzida (Reddy et al., 2004), através da redução da fotossíntese, aumento da respiração e fotorespiração, diminuição do metabolismo, diminuição da polinização e fertilização e por fim, a taxa de crescimento da cultura. Entretanto, foi observado por Powell (1969) que plantas de algodão que cresceram á uma temperatura ótima de 29,4 °C não produziram pólen viável e a fixação dos frutos continuou muito baixa mesmo após a polinização com pólen viável, indicando que a variação entre as temperaturas diurnas e noturnas também possui um importante papel na produtividade do algodoeiro.

Assim como a observação feita por Powell (1969), Gipson e Ray (1969) mostraram que as temperaturas noturnas possuem maior efeito do que as temperaturas diurnas sobre o florescimento do algodoeiro. Recentemente estudos elaborados por Loka e Oosterhuis (2010) tiveram por objetivo determinar os efeitos do curto e do longo período de

altas temperaturas noturnas no conteúdo de carboidratos, adenosina trifosfato (ATP) e na respiração do algodoeiro. O aumento da temperatura noturna por 2 horas (curto período) para 27 e 30 °C aumentou em 49 e 56%, respectivamente, a taxa de respiração em relação ao tratamento controle (24 °C), bem como houve redução do conteúdo de ATP com o aumento da temperatura noturna, apesar do teor de carboidrato nas folhas não ter sido alterado. Por outro lado, o aumento da temperatura noturna de 20 para 28 °C durante 4 horas e por quatro semanas (longo período), além de ter aumentado a taxa de respiração e diminuído o conteúdo de ATP, ocasionou perdas severas do conteúdo de carboidratos nas folhas do algodoeiro.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Ambiente Safra em Paranapanema - São Paulo, 2009/2010.

O ensaio foi conduzido em lavoura comercial de algodão, localizada no município de Paranapanema, Holambra II, SP, entre novembro de 2009 e maio de 2010. Devido às condições ambientais, o período de cultivo nesse ambiente é restrito aos meses de outubro á junho, não havendo a possibilidade de uma segunda safra com algodão. As condições climáticas foram monitoradas por uma estação instalada próxima ao local do experimento e os dados medidos estão na Figura 1.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura muito argilosa (538 g kg⁻¹ de argila, 186 g kg⁻¹ de silte e 276 g kg⁻¹ de areia). A área foi cultivada anteriormente com feijoeiro. No dia 16/11/09 a área foi manejada com glyphosate (2,7 L ha⁻¹) + carfentrazone (64 mL ha⁻¹). A adubação mineral na semeadura constou da aplicação de 400 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-12 + B e Zn (32 kg ha⁻¹ de N; 112 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 48 kg ha⁻¹ de K₂O), baseando-se nos resultados da análise química do solo de amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm, que apresentou, os seguintes teores (RAIJ et al., 2001): pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) 5,78; 38,8 g dm⁻³ de MO; 95 mg dm⁻³ de P_{resina}; 5,7 mmol_c dm⁻³ de K; 52 mmol_c dm⁻³ de Ca; 21 mmol_c dm⁻³ de Mg; 79 mmol_c dm⁻³ de SB; 109 mmol_c dm⁻³ de CTC; saturação por bases (V) de 72%; 11 mg dm⁻³ de S; 7 mg dm⁻³ de Mn; 26 mg dm⁻³ de Fe; 2,2 mg dm⁻³ de Cu; 5,8 mg dm⁻³ de Zn e 0,84 mg dm⁻³ de B.

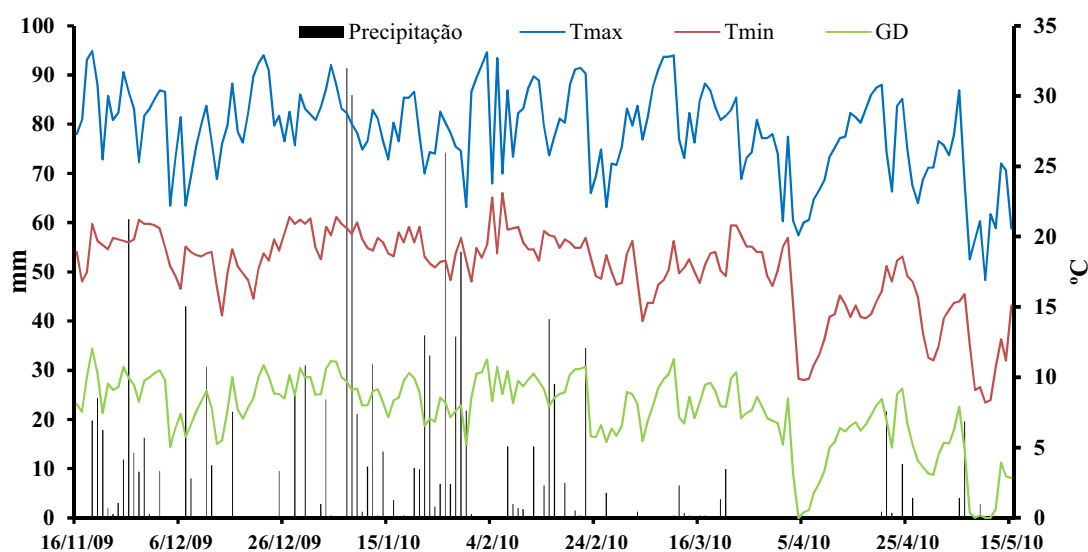


Figura 1. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas e graus-dia acumulados durante a condução do experimento, Paranapanema - SP, 2009/2010.

A semeadura foi realizada em 25 de novembro de 2009 de forma direta, sem o revolvimento do solo, utilizando-se a cultivar FM 966 LL. A emergência ocorreu nove dias após a semeadura. A adubação de cobertura foi realizada com uréia (55 kg ha^{-1} de N aos 10 DAE e 45 kg ha^{-1} aos 24 DAE) e KCl (91 kg ha^{-1} de K_2O aos 29 DAE).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema fatorial 3×5 (espaçamento $\times$ época de sombra), totalizando 15 tratamentos, com 4 repetições. Os tratamentos constaram das populações de plantas, representada pelos espaçamentos de semeadura (0,48; 0,75 e 0,96 m) e as épocas de aplicação da sombra artificial: B1 (pinhead ou primeiro botão floral visível); F1 (primeira flor visível), F7 (primeira flor aberta do sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho do terceiro nó) e um tratamento sem sombra, de acordo com a escala do algodoeiro proposta por Marur e Ruano (2001). A população final de plantas foi de 20,59; 13,16 e 10,31 plantas m^{-2} , para os espaçamentos de 0,48; 0,75 e 0,96 m, respectivamente.

As parcelas experimentais tinham comprimento de 6 m, e 4,5 m de largura. A sombra artificial foi realizada com sombrite de cor preta, com redução de 50% da luminosidade, durante sete dias, a contar do início de cada fase fenológica do algodoeiro (B1,

F1, F7 e C3). Por ocasião da aplicação da sombra, foram instalados sensores de radiação global e sensores PAR, utilizando o modelo LI190SB (Campbell Scientific) para a PAR e o piranômetro modelo CM3 (Kipp e Zonen) para radiação global, dentro e fora da área sombreada, e a partir daí foi calculada a quantidade de energia incidida em cada estágio fenológico utilizando um datalogger modelo CR10 Campbell Scientific (Campbell Scientific, Inc., Logan, UT) para armazenamento dos dados (Tabela 1).

Tabela 1. Radiação global e fotossinteticamente ativa (PAR) acumulada durante os 7 dias de sombra em cada estágio. Paranapanema – SP, 2009/2010.

Estádio	Global Sol*	Global Sombra	PAR Sol**	PAR Sombra
MJ m ⁻²				
B1	118,0	49,4	52,3	23,4
F1	138,0	57,7	65,2	31,0
F7	153,0	63,2	80,1	42,7
C3	127,7	53,9	58,0	26,6

*global ultravioleta; ** radiação fotossinteticamente ativa. B1 (primeiro botão floral visível); F1 (primeira flor visível), F7 (primeira flor aberta do sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro nó).

As avaliações referentes à taxa fotossintética foram realizadas ao final de cada período de sombreamento, na sexta folha mais jovem, a partir do ápice, utilizando-se o equipamento LI-6400 (LiCor, Lincoln, NE, USA). As avaliações foram realizadas entre as 09:00 e 11:00 da manhã, sempre nas parcelas sombreadas e no tratamento controle.

Os tratos culturais e o manejo fitossanitário das parcelas experimentais seguiram os procedimentos adotados na lavoura comercial de algodão, incluindo monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas, aplicações de inseticidas, fungicidas e fitorreguladores. O manejo de reguladores de crescimento foi realizado buscando-se a altura final da planta de 1,30 m, utilizando-se das moléculas cloreto de mepiquat e cloreto de cloromequat. A desfolha foi realizada aos 146 DAE com a aplicação de thidiazuron. A aplicação do maturador ethephon + cyclanilidae ocorreu aos 152 DAE.

Por ocasião da colheita foram avaliadas cinco plantas em sequência e em linha, onde se realizou o mapeamento da produtividade da planta através da contagem do

número de capulhos por ramo frutífero e por posição. Dividiu-se a planta em baixeiro (nós de 5-10), terço médio (nós de 11-15) e ponteiro (nós de 16-20).

Para determinação da produtividade foram colhidos os quatro metros centrais de cada uma das 6, 4 e 2 linhas centrais da parcela para os espaçamentos de 0,48; 0,75 e 0,96 cm, respectivamente. Para determinação do peso do capulho, foram coletados aleatoriamente na área útil da parcela, 30 capulhos do terço médio da planta, os quais foram descaroçados e tiveram o seu rendimento de fibra determinado. As mesmas amostras foram encaminhadas ao laboratório para determinação das características intrínsecas da fibra pelo método HVI.

O estudo estatístico constou de análises de variância, e para os efeitos significativos, as médias dos tratamentos experimentais foram comparadas por meio do teste t (DMS, $P < 0,05$).

5.2 Ambiente Safrinha em Primavera do Leste - Mato Grosso, 2011.

O experimento foi conduzido na área Experimental do IMAmt, localizado em Primavera do Leste, MT, entre os meses de janeiro e agosto de 2011. O ambiente de cultivo é caracterizado por possibilitar uma segunda safra, definida como “Safrinha”, normalmente após o cultivo da soja. A semeadura foi realizada em 24/01/2011. Os dados climáticos como precipitação pluvial e temperatura foram monitorados por uma estação climática localizada próxima ao local do experimento e estão dispostos na Figura 2.

A análise granulométrica do solo (EMBRAPA, 1997), de amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm, apresentou 546 g kg⁻¹ de areia, 87 g kg⁻¹ de silte e 367 g kg⁻¹ de argila. De acordo com análise química prévia do solo, o mesmo apresentou, na camada de 0-20 cm os seguintes teores (RAIJ et al., 2001): pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) 5,6; 21,3 g dm⁻³ de MO; 21,9 mg dm⁻³ de P_{melich3}; 1,12 mmol_c dm⁻³ de K; 25mmol_c dm⁻³ de Ca; 10 mmol_c dm⁻³ de Mg; 36mmol_c dm⁻³ de SB; 57mmol_c dm⁻³ de CTC; saturação por bases (V) de 63,7%; 6,1 mg dm⁻³ de S; 19,3 mg dm⁻³ de Mn; 122 mg dm⁻³ de Fe; 1,3 mg dm⁻³ de Cu; 6,2 mg dm⁻³ de Zn e 0,35 mg dm⁻³ de B.

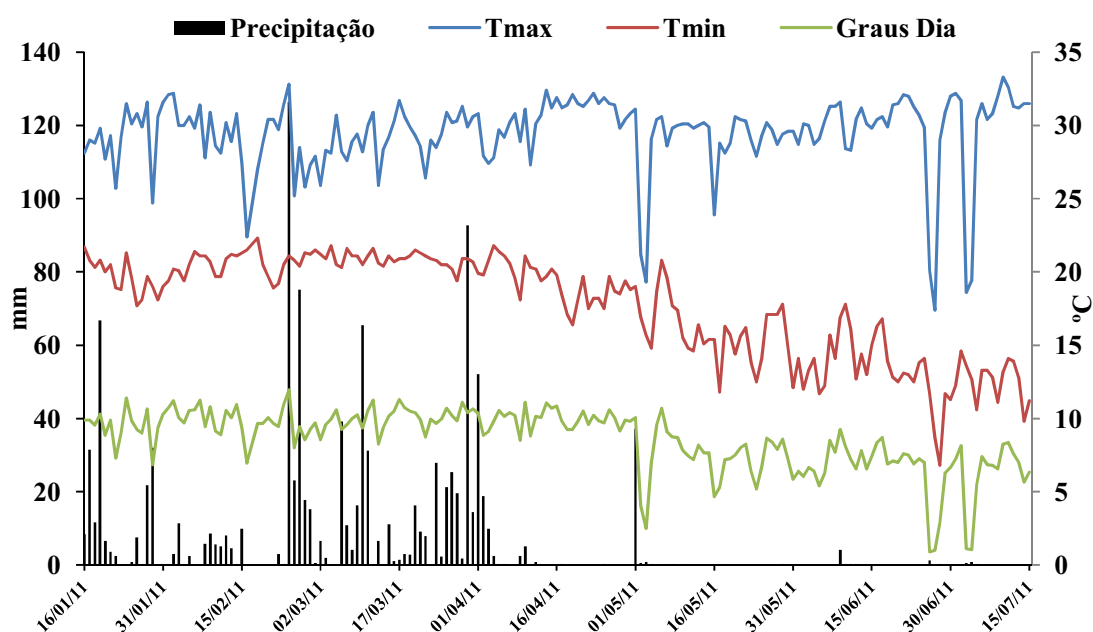


Figura 2. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas e graus-dia acumulados durante o ciclo de crescimento do algodoeiro, Primavera do Leste – MT, 2010/2011.

O estudo constou de um experimento, semeado em ambiente safrinha, em janeiro, nos espaçamentos de 0,45 e 0,76 m. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5, totalizando 10 tratamentos, com 4 repetições: espaçamentos de semeadura de 0,45 e 0,76 m e as épocas de aplicação da sombra artificial: B1 (pinhead ou primeiro botão floral visível); F1 (primeira flor visível), F7 (primeira flor branca no sétimo nó frutífero) e C3 (primeiro capulho no terceiro nó frutífero) e um tratamento sem sombra da lavoura algodoeira, de acordo com a escala do algodoeiro proposta por Marur e Ruano (2001).

A aplicação de sombra artificial foi realizada com sombrite de cor preta, com redução de 50% da luminosidade, durante dez dias, a contar do início de cada fase fenológica do algodoeiro (B1, F1, F7 e C3). A Figura 3 mostra os dados de radiação global e a PAR (radiação fotossinteticamente ativa) incididos sobre a cultura e a Figura 4 mostra a quantidade de energia acumulada em cada fase fenológica.

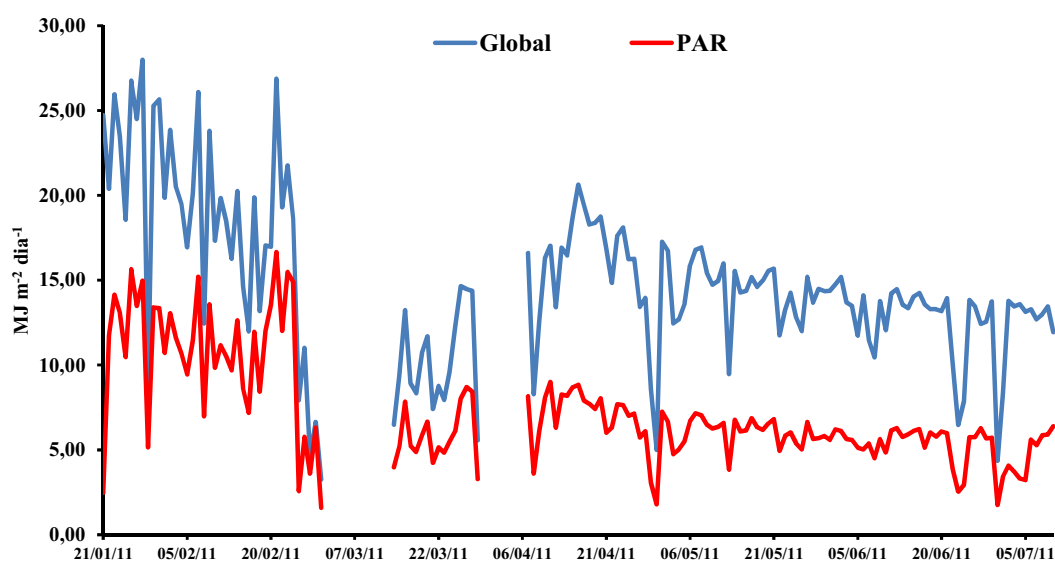


Figura 3. Radiação global e PAR durante a condução do experimento. Primavera do Leste – MT, 2010/2011.

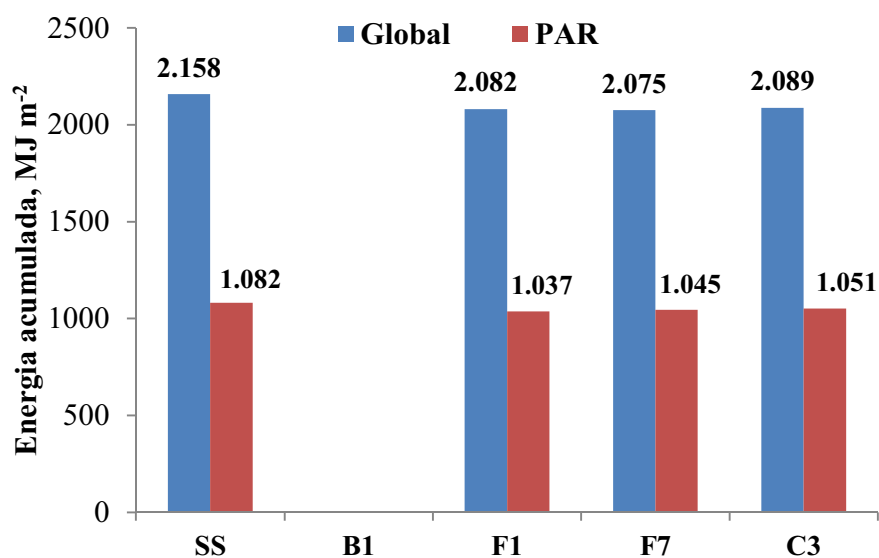


Figura 4. Energia acumulada em cada tratamento, experimento safrinha. Primavera do Leste – MT, 2010/2011. B1 (primeiro botão floral visível); F1 (primeira flor visível), F7 (primeira flor aberta do sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro nó). O estágio fenológico B1 não possui valores devido a perda das medições com a substituição dos sensores.

Em outubro de 2010 procedeu-se a semeadura do milheto (*Pennisetum glaucum*, L., cv. comum), com 25 kg ha⁻¹ de sementes (70% de VC) e incorporação com grade

niveladora, para produção de palhada visando a posterior instalação do algodoeiro. Aos 60 dias após a emergência do milheto, fez-se a dessecação química da área para permitir a semeadura da lavoura.

A adubação do algodoeiro foi realizada um dia antes da semeadura com 20 kg ha⁻¹ de N, 108 kg ha⁻¹ de P e 102 kg ha⁻¹ de K₂O de acordo com Zancanaro e Tessaro (2006). A variedade utilizada foi a IMA CD 6001 LL. A adubação de cobertura foi realizada aos 30 dias após a emergência com 50 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e 50 kg ha⁻¹ de K na forma de KCl e aos 50 DAE com 50 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. As parcelas experimentais tiveram comprimento de 6 m por 3 m de largura. A semeadura foi realizada em 24/01/2011. Os tratos culturais e o manejo fitossanitário das parcelas experimentais foram realizados de acordo com a necessidade e com os procedimentos adotados na Estação Experimental do Instituto Mato-Grossense do Algodão, incluindo monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas, aplicações de inseticidas, fungicidas e fitorreguladores (LORENZI, 2000; GALLO et al., 2002; ANDREI, 2005).

Para o mapeamento da produtividade, foram avaliadas cinco plantas em linha e em sequência por parcela, com a contagem do número de ramos frutíferos e do número de posições frutíferas em cada ramo. Considerou-se como baixeiro os capulhos inseridos entre o 5º e o 8º nó frutífero, terço médio os capulhos entre os nós 9-12º e os capulhos inseridos acima do 12º foram considerados como ponteiro. A população de plantas por metro quadrado por ocasião da colheita foi de 10,9 e 16,5 nos espaçamentos de 0,76 e 0,45 m, respectivamente.

As avaliações dos componentes de produção e da produtividade foram realizadas na área útil da parcela, que correspondeu a 4 metros de cada uma das duas linhas centrais para o ambiente safra e quatro linhas centrais para o ambiente safrinha.

Por ocasião da colheita, foram coletados 30 capulhos do terço médio das plantas para determinação do peso médio do capulho, rendimento de fibra e para avaliação das características tecnológicas da fibra pelo método HVI.

O estudo estatístico constou de análise de variância e para as variáveis com diferenças significativas, as comparações entre médias de tratamentos foram realizadas por meio do teste t (DMS, P<0,05), conforme Banzato e Kronka (2006).

5.3 Ambiente Safrinha em Chapadão do Céu - Goiás, 2011.

O experimento foi conduzido em lavoura comercial de algodão em ambiente safrinha, após o cultivo da soja, na Fazenda Campo Bom, no município de Chapadão do Céu, GO, localizada pelas seguintes coordenadas 18°38'11.26" S e 52°40'17.14" O a uma altitude de 830 m. O ambiente é caracterizado por possibilitar uma segunda safra com algodoeiro, normalmente semeado de janeiro até o início de março.

Os dados climáticos como precipitação pluviométrica e temperatura foram monitorados por uma estação climática localizada próxima ao local do experimento e estão dispostos na Figura 5.

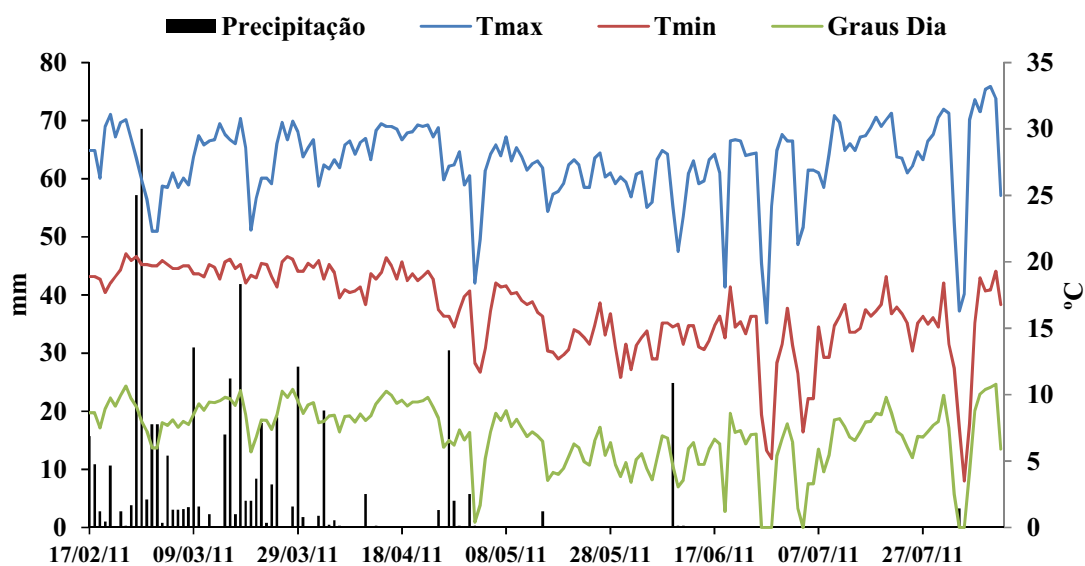


Figura 5. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas e graus-dia acumulados durante o ciclo de crescimento do algodoeiro. Chapadão do Céu, Goiás, 2011.

A semeadura foi realizada em 11/02/2011, utilizando-se a cultivar FMT 701.

A adubação de semeadura constou da aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N; 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 20 kg ha⁻¹ de K₂O. Na adubação de cobertura, foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de N e 110 kg ha⁻¹ de K₂O.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5 (espaçamento x época de sombra), totalizando 10 tratamentos, com 4 repetições. Os tratamentos constaram das populações de plantas, representada pelos espaçamentos de semeadura (0,45 e 0,90 m) e as épocas de aplicação da sombra artificial: B1 (pinhead ou primeiro botão floral visível); F1 (primeira flor visível), F7 (primeira flor aberta do sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro nó) e um tratamento sem sombra da lavoura algodoeira, de acordo com a escala do algodoeiro proposta por Marur e Ruano (2001). A população final de plantas foi de 28,68 e 13,68 plantas m⁻² nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 cm, respectivamente. A aplicação de sombra artificial foi realizada com sombrite de cor preta, com redução de 50% da luminosidade, durante dez dias, a contar do início de cada fase fenológica do algodoeiro (B1, F1, F7 e C3).

Para o mapeamento da produtividade, foram avaliadas cinco plantas em linha e em sequência por parcela, com a contagem do número de ramos frutíferos e do número de posições frutíferas em cada ramo. Considerou-se como baixeiro os capulhos inseridos entre o 5º e o 8º nó frutífero, terço médio os capulhos entre os nós 9-12º e os capulhos inseridos acima do 12º foram considerados como ponteiro. As avaliações dos componentes de produção e da produtividade foram realizadas na área útil da parcela, que correspondeu a 4 metros de cada uma das quatro linhas centrais.

Por ocasião da colheita, foram coletados 30 capulhos do terço médio das plantas para determinação do peso médio do capulho, rendimento de fibra e para avaliação das características tecnológicas da fibra pelo método HVI.

O estudo estatístico constou de análises de variância e para as variáveis com diferença significativa, as comparações entre médias de tratamentos foram realizadas por meio do teste t (DMS, P<0,05), conforme Banzato e Kronka (2006).

5.4. Respostas fisiológicas do algodoeiro à idade da folha e ao sombreamento em casa de vegetação, FCA/Unesp Botucatu.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Agricultura da Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/Unesp em Botucatu, SP. O material de solo utilizado, classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 1999) de textura média (630 g kg^{-1} de areia, 40 g kg^{-1} de silte e 330 g kg^{-1} de argila), foi seco ao ar e peneirado em malha de 4 mm. A análise química (RAIJ et al., 2001) revelou os seguintes valores: pH (CaCl_2) 4,1; $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P_{resina} ; $18,0 \text{ g dm}^{-3}$ de matéria orgânica; $75,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de $\text{H}+\text{Al}$; $0,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K; $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca; $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg; $5,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de SB; $81,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; e 6,3% de saturação por bases (V). Foi aplicado calcário dolomítico (CaO: 28%, MgO: 20% e PRNT: 95%) em quantidade calculada para elevar a saturação por bases a 70%. O solo foi umedecido e incubado sob lona plástica por 30 dias. Em seguida, foi seco ao ar e adubado com 50 mg dm^{-3} de N (uréia), 150 mg dm^{-3} de P (superfosfato simples) e 150 mg dm^{-3} de K (cloreto de potássio). As temperaturas máximas e mínimas dentro da casa de vegetação foram monitoradas por um termômetro e armazenadas em um datalogger (HT-500 da Instrutherm) e os dados são apresentados na Figura 6.

As sementeiras foram realizadas em intervalos de 15 dias, para que no dia da avaliação as folhas tivessem idade de 15, 30, 45 e 60 dias. Assim, semeou-se em 17/11/09; 02/12/09; 17/12/09 e 02/01/10 em vasos com capacidade de 12 litros, sendo 10 sementes da variedade FMT 701 semeadas a 4 cm de profundidade. A emergência ocorreu entre 7-8 dias depois. Aos 10 dias da emergência, foi realizado o desbaste, onde foram mantidas 5 plantas/vaso, e aos 20 dias da emergência procedeu-se outro desbaste, onde foi deixada apenas 1 planta/vaso. As plantas foram irrigadas diariamente, sendo aplicada semanalmente solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), diluída em 50% de água.

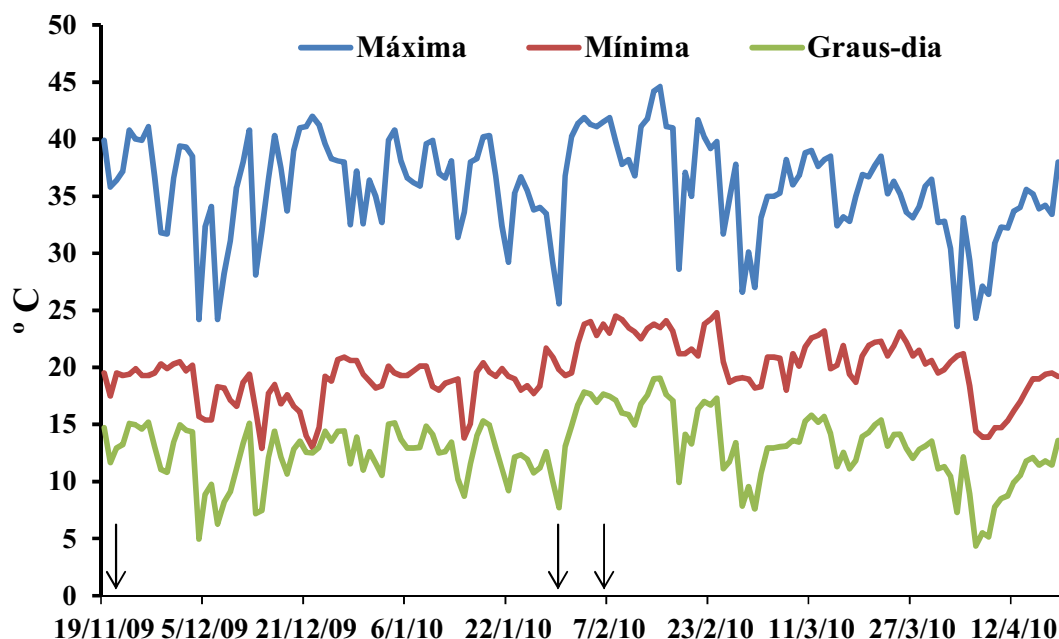


Figura 6. Temperaturas máximas e mínimas durante a condução do experimento em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da FCA/Unesp Botucatu – SP. As setas indicam as datas de semeadura dos experimentos 5.4; 5.5 e 5.6, nessa ordem.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2 (idade da folha x pré-condicionamento) com duas sub-parcelas (condição no momento da avaliação) e 3 repetições. As idades da folha foram de 15, 30, 45 e 60 dias e o pré-condicionamento constou da presença ou da ausência de sombra por 4 dias. As sub-parcelas (condição no momento da avaliação) foram a ausência ou a presença da sombra no momento da avaliação.

A sombra foi simulada com sombrite de cor preta e 50% de retenção da luminosidade, disposta a cerca de 2 cm acima da superfície da folha, suportada por uma estrutura metálica fixa em uma estaca do próprio vaso.

As avaliações de assimilação de CO₂, condutância estomática e concentração celular de CO₂ foram realizadas utilizando-se um medidor de trocas gasosas modelo LiCor 6400 (LiCor Inc., Lincoln, NE), entre 9:00 e 11:00 horas da manhã. A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa incidida no momento da avaliação em cada tratamento é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de acordo com o pré-condicionamento, condição na avaliação e idade da folha. FCA/Unesp Botucatu, 2009/2010.

Pré-Condicionamento		Idade da folha (dias)			
(4 dias)	Condição na avaliação	15	30	45	60
		PAR (mmol fótons m ⁻² s ⁻¹)			
Com Sombra	Com Sombra	228	199	116	117
	Sem Sombra	753	744	259	254
Sem Sombra	Com Sombra	371	421	110	204
	Sem Sombra	394	600	263	350

As variáveis avaliadas foram fotossíntese líquida, condutância estomática e concentração intercelular de CO₂. Para o estudo estatístico e construção das curvas foi utilizado o software Sigma Plot®.

5.5. Trocas gasosas em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa e do sombreamento.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Agricultura da Faculdade de Ciências Agrônômicas FCA/Unesp em Botucatu, SP, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2010. O tipo de solo, a adubação e as condições de cultivo foram as mesmas do experimento 5.4, citadas anteriormente. A semeadura foi realizada em 01/02/10, com 5 sementes da cultivar FMT 701 por vaso. O desbaste foi realizado aos 5 dias após a emergência, mantendo-se apenas uma planta por vaso. As temperaturas máximas e mínimas dentro da casa de vegetação foram monitoradas por um termômetro e armazenadas em um datalogger sendo os dados apresentados na Figura 6.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x8 com três repetições. Os tratamentos resultaram da combinação entre o pré-condicionamento (com sombra e sem sombra) e as densidades de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de 0, 50, 100, 300, 600, 900, 1200 e 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ emitida pelo próprio LiCor - 6400. O pré-condicionamento foi realizado com sombrite de cor

preta e 50% de retenção da luminosidade, disposta á cerca de 2 cm acima da superfície da folha durante os quatro dias que antecederam a avaliação.

As avaliações de assimilação de CO₂, condutância estomática e concentração intercelular de CO₂ foram realizadas utilizando-se um medidor de trocas gasosas modelo LiCor 6400 (LI-COR Inc., Lincoln, NE), entre as 9:00 e as 11:00 horas da manhã em folhas com idade de 15 dias.

A análise estatística constou de análises de regressão, e as curvas foram ajustadas segundo o modelo assimétrico, através do software Sigma Plot®.

5.6. Efeito da idade da folha e da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa nas trocas gasosas da planta

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Agricultura da Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/Unesp em Botucatu, SP entre os meses de fevereiro e abril de 2010. O tipo de solo, a adubação e as condições de cultivo foram as mesmas do experimento 5.4, descritas previamente. As temperaturas máximas e mínimas dentro da casa de vegetação foram monitoradas por um termômetro e armazenadas em um datalogger (HT-500 da Instrutherm) e os dados são apresentados na Figura 6.

A semeadura foi realizada em 07/02/10, com 5 sementes da cultivar FMT 701 por vaso. O desbaste foi realizado cinco dias após a emergência, mantendo-se apenas uma planta por vaso.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 9 com três repetições. Os tratamentos resultaram da combinação entre as idades da folha (15, 30, 45 e 60 dias) e as densidades de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa de 0, 50, 100, 200, 300, 600, 900, 1200 e 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Numa mesma planta, foram marcadas todas as idades da folha, a partir de quando esta estava desdobrada por completo, sendo esta considerada com idade de 1 dia.

As avaliações de assimilação de CO₂, condutância estomática, transpiração e concentração intercelular de CO₂ foram realizadas utilizando-se um medidor de

trocas gasosas modelo LiCor 6400 (LI-COR Inc., Lincoln, NE), entre as 9:00 e as 11:00 horas da manhã dos dias 18 e 19/04/2010.

A análise estatística constou de análises de regressão, e as curvas foram ajustadas segundo o modelo assimétrico, através do software Sigma Plot®, e as idades da folha foram comparadas pelo teste t de Student (LSD).

5.7 Altas temperaturas noturnas no desenvolvimento reprodutivo do algodoeiro

O experimento foi realizado em câmaras de ambiente controlado, no Altheimer Laboratory, pertencente ao Crop, Soil, & Environmental Sciences (CSES) Department da Universidade do Arkansas, em Fayetteville, Arkansas – USA.

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, constando de três tratamentos e 10 repetições. A média dos tratamentos experimentais foi proveniente de duas repetições do experimento. Os tratamentos foram: T1) Temperatura noturna normal de 32/24°C (diurna/noturna); T2) Temperatura noturna alta de 32/29°C durante três semanas a partir do aparecimento do primeiro botão floral; e T3) Temperatura noturna alta de 32/29°C durante três semanas a partir do aparecimento da primeira flor. A temperatura noturna alta teve duração de quatro horas (20 as 24:00 h). As temperaturas diárias nas duas câmaras de crescimento estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Temperatura diurna e noturna nos tratamentos com alta temperatura noturna (A) e normal (N), Fayetteville, AR. 2010-2011.

	Hora/Tempeatura °C												
	0:00	6:00	7:00	9:00	10:00	11:00	12:00	16:30	17:00	18:00	19:00	20:00	23:59
A	24	24	25	28	29	30	32	32	30	29	29	29	29
N	24	24	25	28	29	30	32	32	30	28	24	24	24

As plantas de algodão, cultivar ST 5288 B2F, foram cultivadas em vasos de 2 L, preenchidos com substrato “SunGro®” recebendo solução de Hoagland a 50% diariamente via água de irrigação, a uma temperatura de 32/24 °C (M1). No início do estágio de botão floral (B1) as plantas do tratamento T2 foram transferidas para a câmara de

crescimento M2, que foi programada para a alta temperatura noturna. Ao final da terceira semana do início do estágio B1, as plantas foram transferidas para a câmara M1. O mesmo foi feito quando as plantas do tratamento T3 emitiram a primeira flor.

Ao final de cada semana dos tratamentos foram tomadas avaliações noturnas de respiração, entre as 22:00 e 00:00, e no dia subsequente foram realizadas as medições da fotossíntese, entre 10:00 e 11:00. Ambas avaliações foram feitas na quarta folha mais jovem totalmente expandida, utilizando um medidor portátil de fotossíntese modelo 6200 (LICOR - Inc., Lincoln, NE-USA).

A eficiência do fotossistema II (F_v/F_m) foi determinada em folhas do caule no nono nó ($n=9$), em plantas submetidas a altas temperaturas noturnas ($32/29^{\circ}\text{C}$) e ao controle ($32/24^{\circ}\text{C}$), ao final da terceira semana do estágio de botão floral e na terceira semana do florescimento, pela obtenção da oscilação da fluorescência com um fluorômetro portátil (Modelo OS1-FL, Opti-Sciences, Hudson, NH). A folha foi submetida às temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C , com intervalo de aclimação de 2 minutos entre uma temperatura e outra. Cada média resultou de 4 repetições. O aquecimento/resfriamento da folha foi realizado pela deposição da folha em um papel filtro umedecido em contato com um aquecedor/resfriador termoelétrico de 40mm x 44mm x 3,3mm (All Electronics Corporation, Van Nuys, CA), conforme metodologia descrita em Snider et al (2010).

Ao final da terceira semana do tratamento T2 e T3 coletou-se a flor branca e a sua folha subsequente para posterior análise de carboidratos não estruturais e amido. O material vegetal utilizado para análise de carboidratos e amido foi seco em estufa, à temperatura de 35°C por sete dias, sendo então moído e a extração feita de acordo com metodologia de Hendrix (1993). O tecido moído foi extraído três vezes com uma solução aquosa de etanol ($800\text{ ml etanol L}^{-1}$), e as amostras foram centrifugadas após cada extração a 5 mil rpm sendo então reservadas, enquanto que o material que não foi digerido foi usado para determinação de amido. Adicionou-se carvão ativado às amostras reservadas para remover substâncias que poderiam interferir nas leituras de carboidratos, sendo as amostras centrifugadas novamente, à 10 mil rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi imediatamente armazenado à -80°C para posterior determinação de sacarose e hexose (frutose e glicose) com uma Multi Scan Ascent Microplate Reader (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA). Foi utilizado um kit HK (Sigma Chemical Company, St. Louis, MO) para determinação de

glicose. Uma alíquota de 10 µl de cada extrato foi pipetada dentro de cada amostra, sendo então incubadas a 50 °C por 40 minutos para evaporar o etanol. Dez microlitros de água foram então adicionados á cada amostra junto com 100 µl do reagente determinante de glicose e a placa foi incubada novamente por 15 minutos a 30 °C. A absorbância foi medida por três vezes a 340 nm usando um leitor de microplaca. Subsequentemente, 0,25 unidades de enzima phosphoglucose isomerase foi adicionada aos extratos em cada amostra e a absorbância foi novamente medida a 340 nm, após isso, 83 unidades de enzima invertase foram adicionadas aos extratos e as amostra incubadas á 30 °C por 60 minutos. A absorbância foi medida três vezes á 340 nm.

Ao final de cada período de estresse foi coletado pólen para avaliação da viabilidade do mesmo. Quatro placas de Petri por tratamento, previamente esterilizadas com nitrogênio líquido, foram preenchidas com uma solução de 10% (peso/volume) de agarose, 0.52 m *M* KNO₃, 3.06 m *M* MnSO₄, 1.66 m *M* H₃BO₃ e 0.42 m *M* MgSO₄·7H₂O, de acordo com metodologia descrita por Burke et al (2004), sendo armazenadas em geladeira para solidificação. O pólen foi coletado entre as 9 e 10 horas da manhã, sendo a flor chacoalhada sobre a placa para deposição do grãos de pólen sobre o ágar. Após isso, procedeu-se com a aplicação de uma gota de Cloreto de Tetrazólio (2%) para se obter distintas colorações do pólen (PRASAD e DJANAGUIRAMAN, 2011). Após duas horas incubadas sob temperatura de 25°C, procedeu-se a digitalização das placas em um microscópio eletrônico com aumento de 10X, sendo tiradas duas fotografias em cada placa de Petri. Posteriormente, o número de pólenes viáveis e não viáveis foi contabilizado em cada fotografia, sendo a média de cada placa composta por valores de duas amostras. Foi considerado germinado o grão de pólen que apresentou comprimento do tubo polínico igual ou superior ao diâmetro do grão de pólen. Os resultados foram expressos em porcentagem relativa aos grãos de pólen germinados e não germinados.

A taxa de emissão de flores e a taxa de abscisão de botões/flores/frutos foi contabilizada diariamente e dividida pelo número de plantas até o fim do experimento, aos 66 dias após a emergência. Os componentes de produção foram avaliados ao final do experimento, sendo contabilizado o número de maçãs por planta, o número total de estruturas

reprodutivas (botões, flores e maçãs), o peso total e individual das estruturas reprodutivas, o número de sementes por lóculo, o número de lóculos e o número de sementes por maçã.

O estudo estatístico constou de análises de variância e de regressão. Também foram feitas comparações entre médias de tratamentos por meio do teste t (LSD) a 5% de significância, quando a análise de variância apresentou resultados significativos, conforme Banzato e Kronka (2006).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Ambiente Safra em Paranapanema - São Paulo, 2009/2010.

Os resumos das análises de variância são apresentados na tabela 4. De maneira geral observou-se maior efeito dos tratamentos bem como de suas interações sobre o número de capulhos de primeira posição, com pouco ou nenhum efeito dos fatores sobre o número de capulhos total.

Tabela 4. Valores de P>F para as variáveis capulhos de primeira posição (P1), de segunda posição (P2), de terceira ou maior (P3+) e capulhos total de acordo com a fonte de variação. Paranapanema – SP, 2009/2010.

Fonte de variação	P1	P2	P3+	Total
Espaçamento (E)	0.01	0.01	0.01	0.08
Sombra (S)	0.11	0.27	0.60	0.13
Porção do dossel (PD)	0.01	0.01	0.01	0.01
E x S	0.03	0.54	0.86	0.58
E x PD	0.01	0.08	0.01	0.46
S x PD	0.01	0.78	0.97	0.06
E x S x PD	0.59	0.65	0.78	0.54

O algodoeiro cultivado no espaçamento de 0,48 m produziu maior número de capulhos em primeira posição que nos espaçamentos de 0,75 e 0,96 m (Figura 7).

No entanto, para a segunda e terceira posições o algodoeiro cultivado nos espaçamentos mais largos produziu maior quantidade de capulhos, apesar do número total de capulhos não ter sido alterado em razão do espaçamento de cultivo (Figura 7). Assim como no presente trabalho, nenhum efeito foi observado sobre o número de capulhos por metro quadrado em razão do aumento da população de plantas de 128 para 385 mil plantas ha⁻¹ (BOQUET, 2005), sendo que no presente experimento as populações de plantas variaram de 103 á 206 mil plantas ha⁻¹ e também não houve efeito sobre o número total de capulhos.

O número de capulhos em primeira posição (P1) diminuiu quando a sombra foi aplicada nos estádios fenológicos B1, F1 e F7, mas não houve influência da sombra sobre o número de capulhos em segunda e terceira posições e total (Figura 7). Quando a sombra foi aplicada após o estágio fenológico B1 observou-se que o número de frutos abortados em P1 não foi compensado pelo aumento do número de frutos de segunda e terceira posições.

A diminuição da incidência de luz provocada pelos tratamentos e a consequente queda na produção de carboidratos são os fatores responsáveis pelo aumento da taxa de abscisão de botões florais, flores e frutos, que é governada pela relação entre o conteúdo de auxinas e etileno/ácido abscísico (GUINN, 1974; GUINN; BRUMMET, 1987). O papel das auxinas é de suprimir a síntese de celulase e de pectinase, que são enzimas que causam o enfraquecimento das células na zona de abscisão. Por outro lado o etileno promove a síntese de celulase, enquanto que o ácido abscísico pode estar diretamente relacionado com a abscisão ou causar um aumento na concentração de etileno (GUINN, 1982).

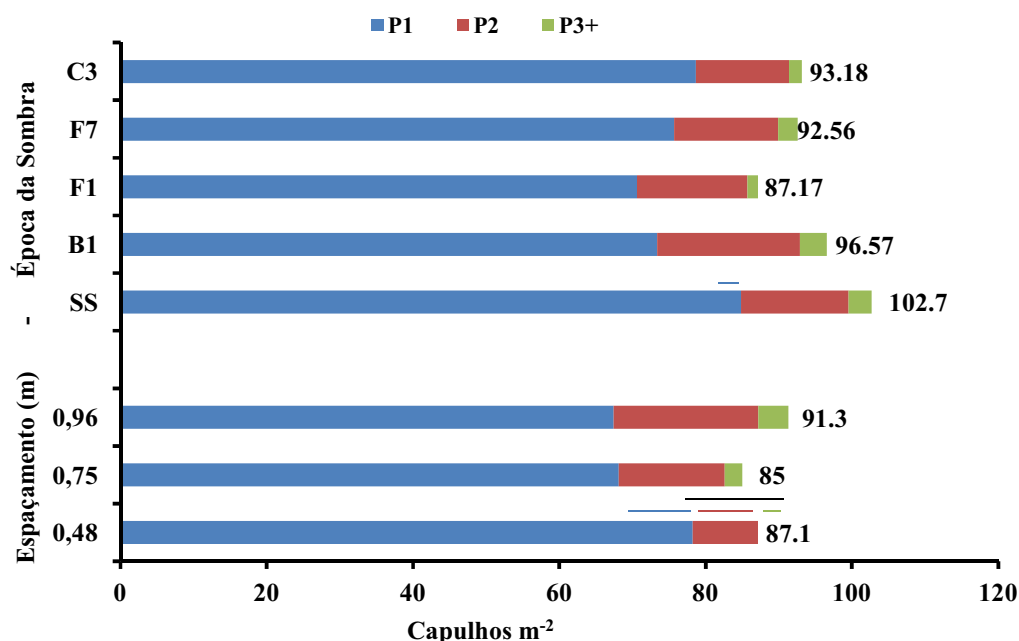


Figura 7. Número de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) de acordo com o espaçamento de cultivo e época de sombreamento. B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (Sem sombra), Paranapanema – SP, 2009/2010. O número ao lado da barra indica o número total de capulhos. As linhas sobre as barras representam a diferença mínima significativa ($P > 0.05$). A cor da linha é a cor correspondente à posição do capulho, sendo a da cor preta para o número total de capulhos.

O número de capulhos no ponteiro da planta foi menor em relação ao terço médio e ao baixeiro, e esse comportamento ocorreu para capulhos de P1, P2 e número total de capulhos, mas para capulhos em P3+ o baixeiro das plantas cultivadas nos espaçamentos mais largos (0,75 e 0,96 m) foi a porção do dossel responsável pelo maior número de capulhos produzidos (Figura 8).

O algodoeiro cultivado no espaçamento de 0,48 m produziu maior número de capulhos em P1 no baixeiro e no terço médio da planta, mas produziu menos capulhos em P2 nessas porções do dossel (Figura 8).

O maior número de frutos em segunda e terceiras posições no baixeiro das plantas cultivadas em espaçamentos normais ocorre devido ao formato do dossel e ao

hábito de crescimento do algodoeiro, em forma de espiral, assim a formação de frutos nas segunda e terceira posições frutíferas na base da planta ocorre somente após a formação dessas estruturas em primeira e segunda posições no terço médio e no ponteiro da planta, fato esse que não acontece quando o algodoeiro passa a ser cultivado em espaçamentos estreitos (Figuras 7 e 8).

Nas condições de cultivo do algodoeiro no Brasil, dificilmente haverá formação de capulhos em terceira posição acima do baixeiro, isso porque a falta de condições ambientais propícias tais como umidade e temperatura, inibirá a formação dessas posições frutíferas. Em condições irrigadas, Pettigrew (2004b) observou que o número de capulhos de segunda e terceira posição foram maiores que em condições de sequeiro, no entanto para capulhos de primeira posição não houve diferença. Estudos conduzidos por Ritchie et al. (2009) na Geórgia – USA, também mostraram que a distribuição de capulhos na planta é alterada pela irrigação.

Outro fator que pode influenciar a distribuição de frutos é a morfologia da folha, pois conforme demonstrado por Heitholt (1993), no algodoeiro com folhas do tipo normal 98% dos frutos localizaram-se em primeira e segunda posições, enquanto que no tipo super-okra foram 88%, demonstrando que as posições 3 ou maiores são mais importantes para a contribuição na produtividade final em cultivares do tipo super-okra.

Gonias et al. (2011) estimaram maior eficiência de uso da radiação interceptada em isolinhas de folha okra da ordem de 38% (1.897 e 2.636 g MJ⁻¹ para folha normal e okra, respectivamente), embora nenhuma diferença nas trocas gasosas foi observada, sendo a maior eficiência da folha okra atribuída às características de interceptação da luz. Os autores sugerem ainda, que em altas populações de plantas ou em espaçamentos reduzidos, isolinhas com folha okra podem aumentar a interceptação luminosa.

A maior quantidade de capulhos em segunda e terceira posição nos espaçamentos mais largos ocorre devido ao maior crescimento lateral do ramos, formando novas posições simpodiais, o que não acontece em espaçamentos mais estreitos devido á alta concentração de plantas inibir o crescimento lateral, pois sem a incidência de luz, as gemas laterais não são estimuladas e não se desenvolvem.

O desdobramento da interação entre a época de sombreamento e a

porção do dossel sobre o número de capulhos em primeira posição revelou que na ausência de sombra (SS) o baixeiro foi a porção do dossel cuja produção de capulhos foi maior, seguido por terço médio e ponteiro (Figura 9). No entanto, quando a sombra foi aplicada, em todos os tratamentos, o terço médio se igualou ao baixeiro, em função da redução do número de capulhos nos tratamentos B1, F1, F7 e C3 na parte mais baixa da planta.

No experimento de Crozat et al. (1999), os autores submeteram o algodoeiro ao sombreamento (60% de redução da luminosidade) por períodos de quatro e oito dias após o início da fase de emissão do primeiro botão floral e observaram que a fase mais crítica foi entre os 320-400 graus dias da emissão do primeiro botão para todos os tratamentos, inclusive para o tratamento controle, que teve uma taxa final de abscisão de 19%, enquanto nos tratamentos com sombra foi de 31 e 58%, para os períodos de 4 e oito dias de sombra, respectivamente. O pico de abscisão de frutos no trabalho de Crozat et al. (1999) ocorreu cerca de 30-35 dias após a emissão do botão floral, que coincide com a data de abertura da primeira flor ou estágio fenológico F1.

De maneira geral observou-se que o efeito do sombreamento no presente experimento foi restrito ao baixeiro, isso porque nessa porção do dossel, já ocorre um auto-sombreamento provocado pelas folhas do terço médio e do ponteiro, assim a sombra artificial potencializou o efeito e aumentou a queda de flores e frutos no baixeiro (Figura 9).

O número total de capulhos foi maior no tratamento sem sombra do que nos tratamentos com sombra em F1, F7 e C3 no baixeiro (Tabela 8). Na ausência de sombra (SS), a distribuição de capulhos seguiu a seguinte ordem baixeiro>terço médio>ponteiro, no entanto nos tratamentos com sombra foi baixeiro=terço médio > ponteiro (Figura 9).

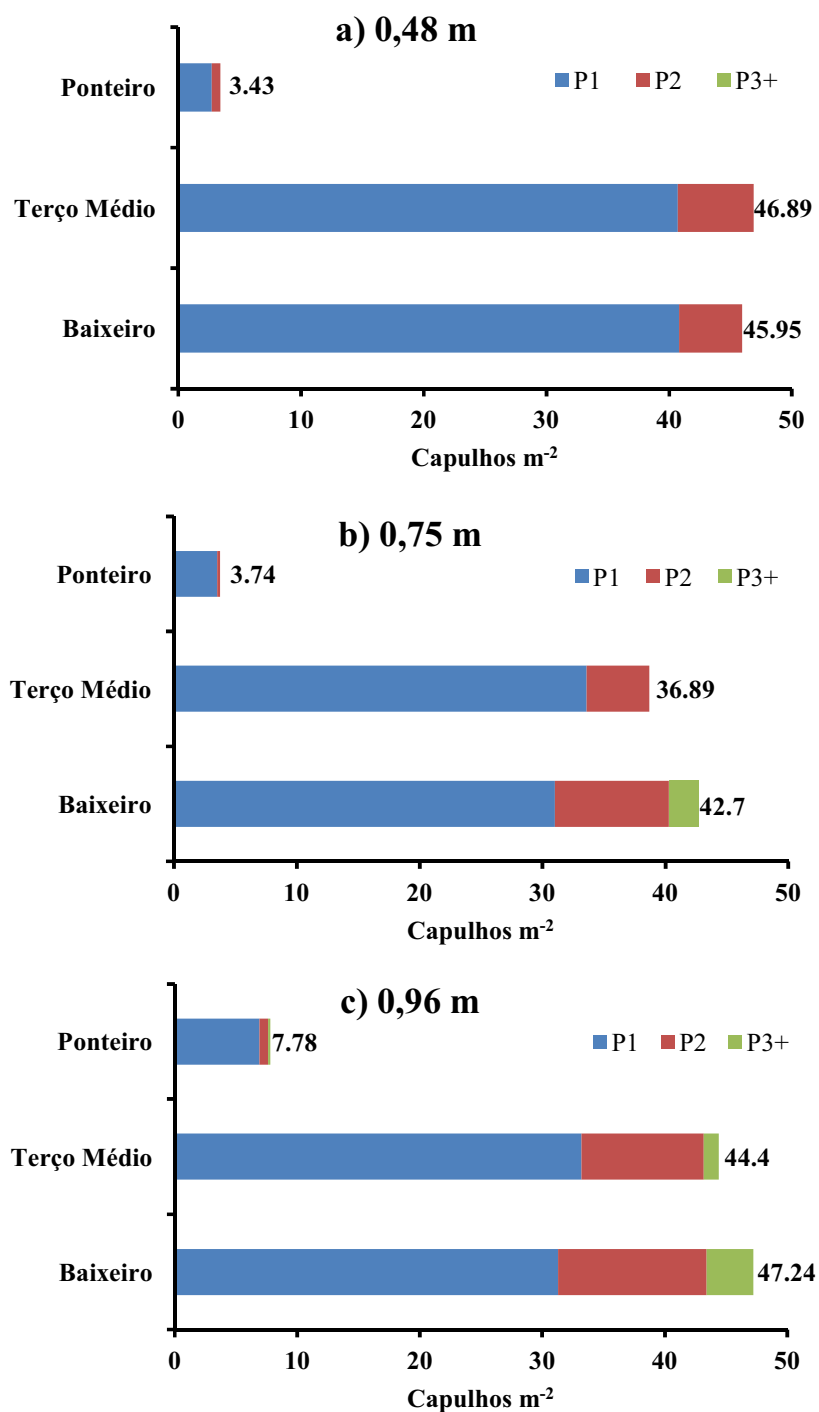


Figura 8. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixo (nós 5-10), terço médio (nós 11-16) e ponteiro (nós 16-20) das plantas cultivadas nos espaçamentos de 0,48 m (a); 0,75 m (b) e 0,96 m (c). Paranapanema – SP, 2009/2010. Dms P1, P2 e P3+, 5,3; 3,9 e 1,4 respectivamente. O valor ao lado da barra indica o número total de capulhos (P1+P2+P3+) em cada parte do dossel.

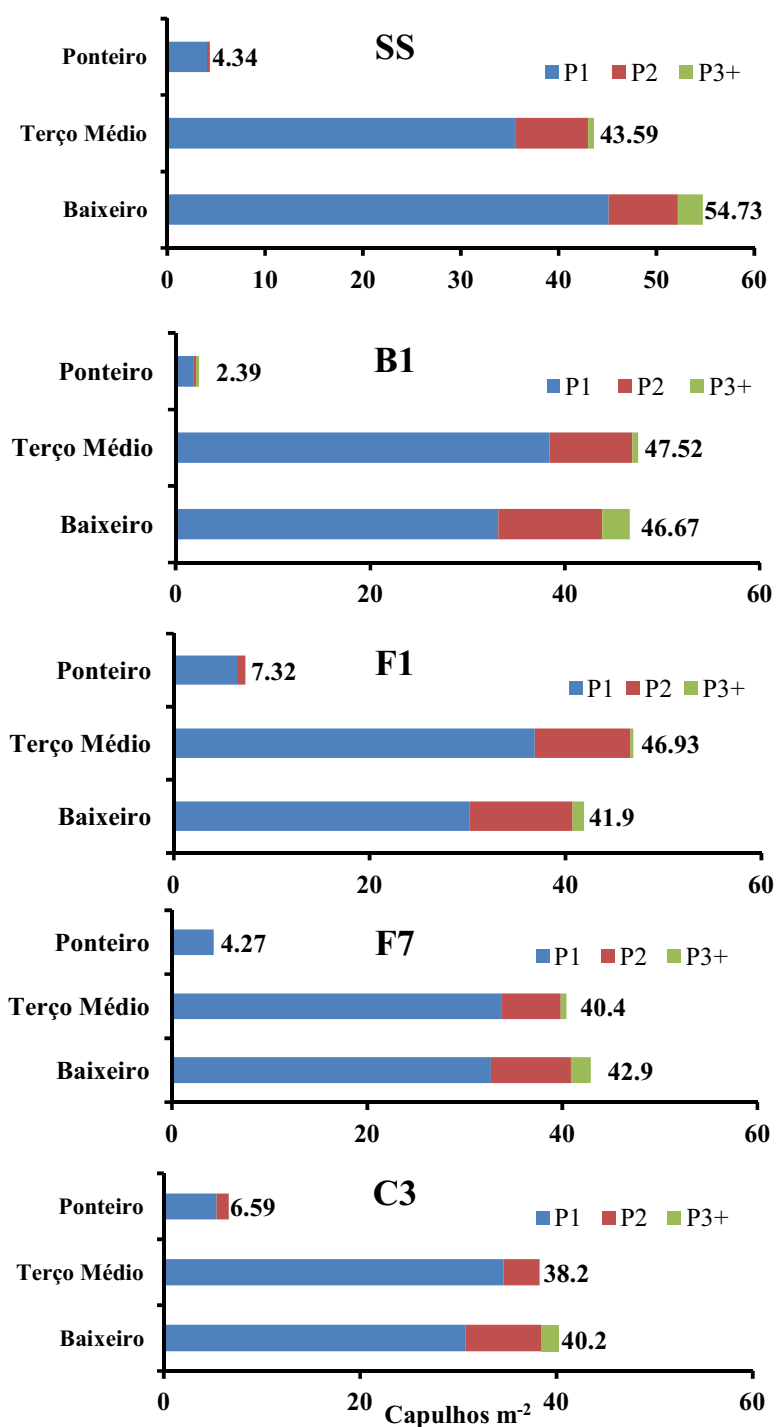


Figura 9. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-10), terço médio (nós 11-16) e ponteiro (nós 16-20) das plantas sombreadas em B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo

frutífero).e não sombreadas (SS) . Paranapanema – SP, 2009/2010. Dms P1, 6,91. Não significativo para P2 e P3+. O valor ao lado da barra indica o número total de capulhos (P1+P2+P3+) em cada parte do dossel.

A produtividade de algodão em caroço diminuiu quando a sombra foi imposta em F1 e C3 (Tabela 5). A menor produtividade de algodão em caroço quando a sombra foi aplicada na fas eF1 foi devido a diminuição no número de capulhos, principalmente os de primeira posição (Figura 7). Já no tratamento C3, a diminuição da produtividade foi devido ao menor menor peso individual do fruto (Tabela 5) e também ao menor número (Figura 7).

Tabela 5. Componentes de produção e produtividade do algodão em função da época de aplicação da sombra. Paranapanema – SP, 2009/2010.

Época da Sombra	Produtividade de algodão em caroço	Massa de 1 capulho	Rendimento de fibra	Produtividade de algodão em fibra
	kg ha ⁻¹	G	%	kg ha ⁻¹
SS	4575 a	7.3 a	35.8	1663
B1	4356 ab	7.3 a	35.6	1550
F1	4130b	7.3 a	35.0	1451
F7	4288 ab	7.4 a	34.6	1483
C3	4194b	7.0 b	35.5	1493
LSD	290 (<i>P</i> >0.01)	0.3 (<i>P</i> >0.04)	2.5 (<i>P</i> >0.86)	146 (<i>P</i> >0.12)

*B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor), F7 (primeira flor no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero). a>b na coluna (*P*>0.05).

Zhao e Oosterhuis (2000) observaram diminuição no peso de capulho do algodoeiro quando a sombra ocorreu durante a fase de desenvolvimento do capulho, devido a diminuição da taxa fotossintética das folhas e a um limitado fornecimento de carboidratos para enchimento do fruto. Neste experimento, os capulhos amostrados para determinar o peso de capulho foram coletados no terço médio da planta, assim, no tratamento C3, os capulhos amostrados desenvolveram-se com uma redução na luminosidade, que limitou o suprimento adequado de carboidratos para enchimento do fruto.

O rendimento de fibra não foi influenciado pelos períodos de sombra (Tabela 5). O rendimento de fibra é uma característica geneticamente controlada (GODOY;

PALOMO, 1999), mas que pode ser afetada por alguns fatores como luminosidade (ROUSSOPOULOS et al., 1998), fato esse não observado no presente experimento. As épocas de sombreamento também não influenciaram a produtividade de algodão em fibra (probabilidade considerada de 0.05%). Entretanto, no menor nível significativo ($P>0.12$) houve um decréscimo na produtividade de algodão em fibra sempre que a sombra foi imposta. Dusserre et al. (2002) não observaram efeito de sombra (diminuição de luz em 40%) imposta antes do início da antese sobre o peso da fibra, porque as menores taxas de crescimento foram compensadas por um longo período de crescimento. No entanto, quando a sombra foi imposta aos 178 graus-dia após o início da antese, o peso final da fibra diminuiu porque não houve tal efeito compensatório. Portanto, neste experimento, a menor produção de algodão em caroço quando a sombra foi imposta a partir da fase F1 pode ser devido ao insuficiente produção e armazenamento de carboidratos, como resultado da menor taxa fotossintética neste tratamento (Figura 10).

A taxa fotossintética nos tratamentos sem sombra foi maior no estágio fenológico C3 do que em B1 e F1, mas no tratamento com sombra, a taxa fotossintética no estágio fenológico B1 foi similar ao C3 (Figura 10). Zhao e Oosterhuis (1998a) observaram que a sombra aplicada nos estádio do primeiro botão floral, primeira flor, florescimento pleno e desenvolvimento do fruto reduziu a taxa fotossintética em cerca de 50%, sendo que na fase de botão floral as taxas fotossintéticas dos tratamentos sombreado e não sombreado foram inferiores aos demais estádios fenológicos, o que pode ter ocorrido devido às condições climáticas tais como temperatura e luminosidade menos favoráveis que nos outros estádios. No presente trabalho observou-se que a sombra reduziu as trocas gasosas, em média, 33% (44, 29 e 31% para o B1, F1 e C3, respectivamente), valor esse inferior ao observado por Zhao e Oosterhuis (1998a), fato esse que pode ser associado com o grau de sombreamento, que foi de 50% no presente trabalho e de 63% no de Zhao e Oosterhuis (1998a).

Para a média de todos os estádios fenológicos, a imposição da sombra resultou em uma redução de 35,5% da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, que culminou em uma redução de 25% na fotossíntese líquida e de 16% na condutância estomática (Figura 11). De acordo com Smith e Longstreth (1994) a fotossíntese de folhas do algodoeiro sob alta densidade de fluxo de fótons tem o potencial de assimilar 2,2 vezes o conteúdo de CO_2 do que em folhas sob baixa densidade de fluxo de fótons, entretanto no

presente experimento folhas não sombreadas assimilaram 1,4 vezes o total de CO₂ em relação às folhas do tratamento sombreado, devido principalmente á menor DFFFA.

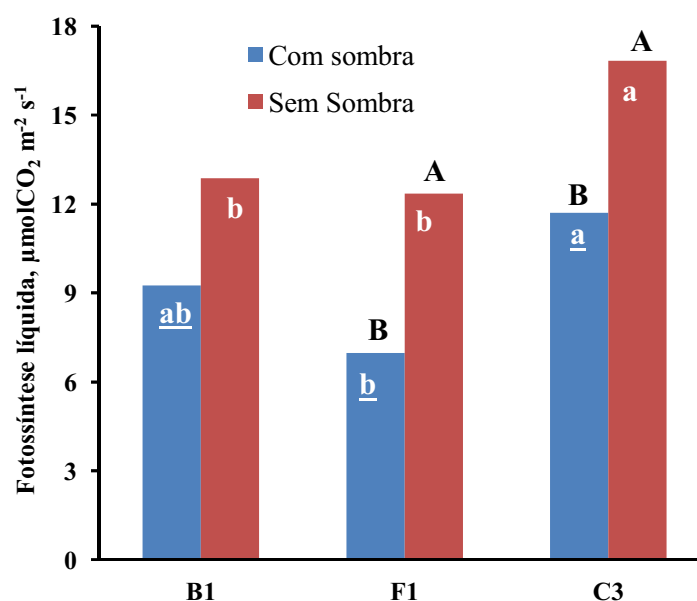


Figura 10. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro (sexta folha mais jovem completamente expandida) em tratamentos com sombra e sem sombra em cada fase fenológica. Letras minúsculas comparam estádios fenológicos (dentro de cada tratamento – mesma cor) e letras maiúsculas comparam os tratamentos sombreados e não sombreados. B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) Paranapanema – SP, 2009/2010. LSD(■)3.27(P>0.01); LSD(■)3.32(P>0.01); LSD(B1)3.66(P>0.06); LSD(F1)3.20(P>0.01); LSD(C3)2.99(P>0.20).

Embora o efeito do sombreamento tenha sido bastante significativo sobre as trocas gasosas, sobre a condutância estomática não foi, isso porque a abertura e o fechamento dos estômatos, que regula a condutância estomática, é controlada por outros fatores além da luz (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998a; PASTERNAK; WILSON, 1973) como o estresse hídrico, tanto o excesso quanto a falta de água no solo (TAIZ; ZEIGER, 2010) e a concentração de CO₂ no ambiente (ROELFSEMA; HEDRICH, 2005).

Esperava-se um efeito negativo da sombra sobre a qualidade da fibra (ZHAO; OOSTERHUIS, 2000; PETTIGREW, 2001), porém isso não ocorreu. O micronaire é resultado de espessamento da parede secundária pela deposição de carboidratos, portanto,

qualquer estresse que reduza a disponibilidade de carboidratos pode prejudicar a qualidade da fibra, bem como peso de capulho. Todavia, neste experimento não houve efeito no índice micronaire, devido à redução da luminosidade (Tabela 6).

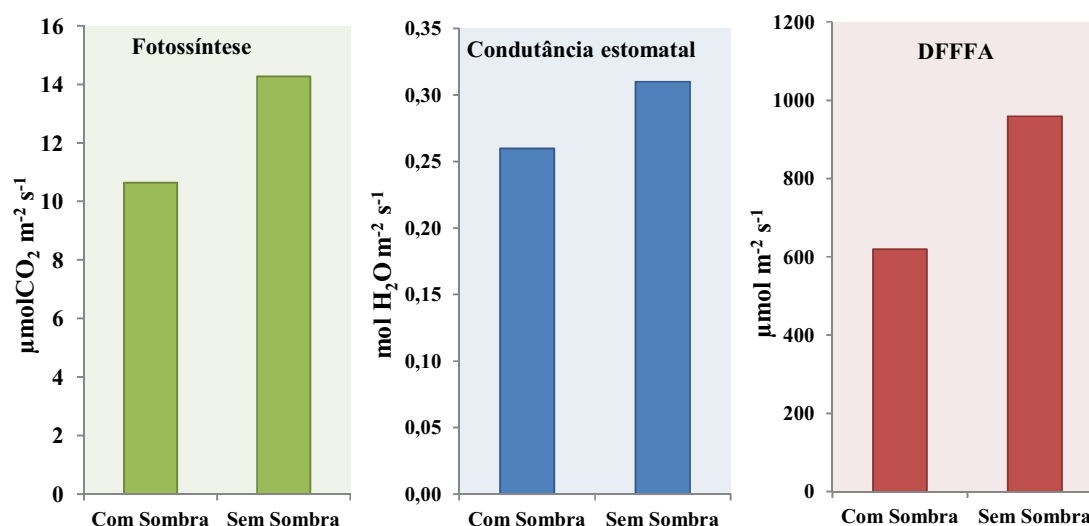


Figura 11. Fotossíntese, condutância estomática e da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA) nos tratamentos com sombra e sem sombra. LSD 1.87($P>0.01$); 0.04($P>0.05$); 178 ($P>0.01$) para a fotossíntese, condutância estomática e DFFFA, respectivamente. Paranapanema – SP, 2009/2010.

O comprimento da fibra também não foi afetado pelos períodos de sombreamento (média 28,1mm). O comprimento da fibra é definido em até três semanas após a antese, e depois disso começa a deposição de celulose na fibra, que dura cerca de 25 a 30 dias. Neste experimento, o sombreamento que durou apenas uma semana não foi suficiente para prejudicar o crescimento e amadurecimento da fibra, mostrando que, se não há limitações ambientais ou nutricionais, o desenvolvimento normal da fibra é retomada após um curto período de baixa luminosidade.

No entanto, Zhao e Oosterhuis (2000) mostraram que em um experimento realizado no ano agrícola de 1994, no estado americano do Arkansas, a sombra aplicada em qualquer estágio fenológico (primeiro botão floral, início do florescimento, florescimento pleno ou desenvolvimento do fruto) influenciou negativamente o micronaire,

com reduções que variaram de 8-16% em relação ao tratamento não sombreado. No ano subsequente, a sombra de oito dias foi aplicada no estágio do primeiro botão floral visível, 8 e 16 dias após a aparência do botão floral, mas o índice micronaire não foi significativamente afetado pelos tratamentos, entretanto quando a sombra foi aplicada no estágio de desenvolvimento do fruto intercalando-se períodos de sombra de 1, 2 ou 4 dias (de forma que ao final todos tratamentos receberam sombreamento por 8 dias) houve uma forte redução do índice micronaire em todos os tratamentos que receberam sombra. Também Pettigrew (1995) observou redução no micronaire da fibra quando submetidas ao sombreamento. A divergência dos resultados observados no presente trabalho pode estar associada ao grau de sombreamento, uma vez que, no experimento de Zhao e Oosterhuis (2000), a sombra foi 63% de redução na luminosidade e no trabalho de Pettigrew (1995), a sombra foi de 30% de redução na DFFFA e teve duração de 42 dias, enquanto que, no presente trabalho, a sombra de 50% de redução na DFFFA teve duração de sete dias.

Tabela 6. Qualidade intrínseca da fibra de acordo com a época de incidência da sombra com redução de 50% na luminosidade. Paranapanema – SP, 2009/2010.

Estádio da sombra	Micronaire	Comprimento da fibra	Índice de fibras curtas (SFC)	Maturidade
	$\mu\text{g in}^{-1}$	Mm	%	-
Sem Sombra	4,26	28,14	3,76	0,90
B1	4,27	28,05	4,00	0,90
F1	4,13	28,18	3,98	0,89
F7	4,14	28,34	3,88	0,90
C3	4,18	27,90	4,15	0,90
LSD(P>FCal)	0,15(0.33)	0,43(0.34)	0,50(0.60)	0,013(0.29)

*B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero).

Outros caracteres de qualidade da fibra, tais como o comprimento, o índice de fibras curtas e a maturidade também não foram influenciados pela sombra (Tabela 6). O comprimento da fibra começa a ser definido já no momento da antese até 2 dias após o início da antese (DAA) sendo que 80% do comprimento é definido entre 18-21 DAA (JASDANWALA et al., 1977) e nessa fase é importante que o suprimento de carboidratos seja adequado para não prejudicar a expansão da parede celular primária, que irá definir o comprimento da fibra (HAIGLER, 2010). De acordo com Stewart (1986) o período de

desenvolvimento do comprimento da fibra vai do terceiro ao vigésimo quinto dia do início da antese, e nessa fase os fatores que mais interferem são a temperatura e a nutrição com potássio, uma vez que esse nutriente está envolvido no controle da pressão de turgor, que promove a expansão da célula (WILKINS, 1992). Sendo assim pouco ou nenhum efeito era esperado do sombreamento sobre o comprimento da fibra, fato esse que ocorreu.

Quanto á maturidade, também não foram observadas mudanças significativas nos tratamentos expostos ao sombreamento (Tabela 6). A maturidade é a espessura da parede secundária, e está diretamente relacionada com o índice micronaire (HAIGLER, 2010). O espessamento da fibra ocorre por deposição de celulose dentro da parede primária da fibra para que a parede secundária progressivamente encha o lúmen. Esta fase começa cerca de 12 a 22 dias após a antese e continua até 35-55 DPA dependendo do cultivare do meio ambiente (SCHUBERT et al., 1976, THAKER et al., 1986), especialmente por temperaturas noturnas frias (HAIGLER et al., 1991). Zhao e Oosterhuis (2000) mencionam o efeito negativo da sombra do desenvolvimento do fruto sobre o índice micronaire, e indiretamente sobre a maturidade da fibra, fato esse não observado nesse experimento (Tabela 6).

O índice de fibras curtas (SFC) não foi alterado pelos períodos de sombra (Tabela 6). Apesar de não estar diretamente relacionada nas características tecnológicas que compõem o ágio ou deságio (preço final pago pelo lote de pluma), o SFC tem ganhado importância comparável à maturidade, resistência e comprimento (BEHERY, 1993). Embora o comprimento da fibra seja uma característica primariamente genética, o SFC é dependente, além do genótipo, das condições de cultivo, de colheita, métodos de descaroçamento e de processamento (BRADOW; DAVIDONIS, 2010).

A produtividade de algodão em caroço foi maior quando cultivado no espaçamento de 0,75 m entrelinhas, mas a massa de um capulho decresceu conforme reduziu-se o espaçamento, e foi menor no espaçamento de 0,48 m (Tabela 7). Esse comportamento é resultado da competição entre os frutos por recursos quando o algodoeiro é cultivado em altas populações de plantas, apesar da produtividade de fibra não mudar (BOQUET, 2005). De fato, a fotossíntese líquida das folhas do algodoeiro diminuiu no espaçamento mais estreito, de 0,48 m (Figura 12), provavelmente devido á maior competição por recursos nesse espaçamento.

Referente à taxa fotossintética, Arriaga et al. (2009) observaram maiores valores quando o algodoeiro foi cultivado no espaçamento de 1,02 m, comparado ao de 0,20 m. No entanto, a produtividade em três anos dos quatro anos foi maior no menor espaçamento, contrariamente do que foi observado no presente experimento (REEVES; DELANEY, 2002).

O rendimento de fibra não foi afetado pelo espaçamento entrelinhas, mas a produtividade de fibra foi, sendo esta maior no espaçamento 0,75 m. Jost e Cothren (2000) também não observaram diferenças na porcentagem de fibra de algodão semeado em espaçamentos convencionais e ultra-estrito. Assim, as diferenças observadas na produtividade de fibra foram devido as diferentes produtividades do algodoeiro em caroço. Resultados semelhantes foram obtidos por Boquet (2005) em algodoeiro cultivado em espaçamentos largos, em comparação com linhas estreitas.

Tabela 7. Produtividade do algodoeiro, massa de um capulho e rendimento de fibra de acordo com o espaçamento de cultivo, Paranapanema, SP, Safra 2009/2010.

Espaçamento	Produtividade de algodão em caroço	Capulhos	Massa de 1 capulho	Rendimento de fibra	Produtividade de algodão em fibra
M	kg ha⁻¹	m⁻²	G	%	kg ha⁻¹
0,48	4297 ab	87.22	6.9 b	34.1	1467 b
0,75	4514 a	85.22	7.3 a	36.1	1626 a
0,96	4114b	91.46	7.5 a	35.7	1474 b
LSD	224 (<i>P</i> >0.03)	13.32(0.08)	0.23 (<i>P</i> >0.01)	1.9 (<i>P</i> >0.08)	113 (<i>P</i> >0.01)

a>b na coluna pelo teste t (LSD).

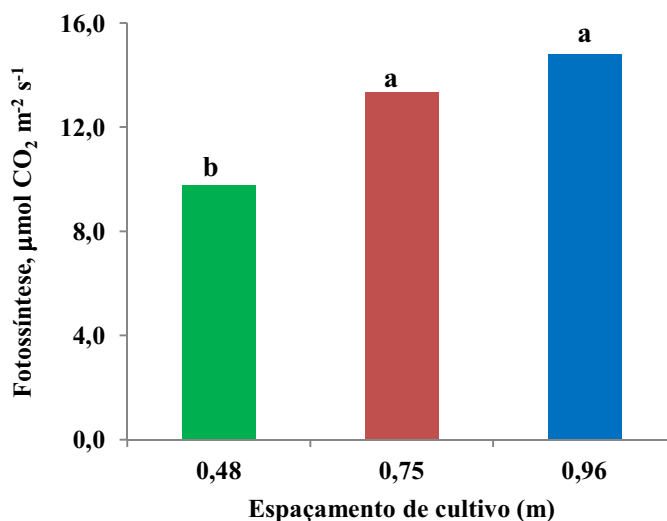


Figura 12. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro cultivadas nos espaçamentos de cultivo de 0,48; 0,75 e 0,96 m. Paranapanema – SP, 2009/2010. As médias são resultados de avaliações tomadas nas fases B1, F1 e C3 na sexta folha mais jovem completamente expandida. $a > b$ pelo teste t (LSD). Dms 2.33 ($P > 0.01$).

O espaçamento entrelinhas não afetou o índice micronaire (média 4,2), mas o comprimento das fibras diminuiu quando o algodoeiro foi cultivado no espaçamento de 0,48 m entrelinhas (Tabela 8). Resultados semelhantes foram observados por Jost e Cothren (2000), que relataram uma tendência de diminuição do comprimento das fibras, quando o espaçamento entrelinhas foi reduzido para 0,19 m. No entanto, Boquet (2005) observou pouco efeito dos espaçamentos de cultivo sobre o comprimento da fibra.

Tabela 8. Qualidade intrínseca da fibra de acordo com o espaçamento de cultivo, Paranapanema - SP, 2009/2010.

Espaçamento de cultivo	Micronaire	Comprimento da fibra	Índice de fibras curtas (SFC)	Maturidade
M	$\mu\text{g in}^{-1}$	mm	%	-
0,48	4.18	27.78 b	4.24 a	0.902
0,75	4.24	28.28 a	3.66 b	0.903
0,96	4.16	28.31 a	3.97 ab	0.903
LSD($P > F_{Cal}$)	0,12(0.33)	0,33(0.01)	0,38(0.01)	0,01(0.94)

$a > b$ na coluna pelo teste t (LSD).

6.2 Ambiente Safrinha em Primavera do Leste - Mato Grosso, 2011.

Os resumos das análises de variância (valores de F) dos tratamentos bem como das interações entre os tratamentos são mostrados na tabela 9.

Tabela 9. Valores de $P > F$ para as variáveis capulhos de primeira posição (P1), de segunda posição (P2), de terceira ou maior (P3+) e capulhos total de acordo com a fonte de variação. Primavera do Leste – MT, 2011.

Fonte de variação	P1	P2	P3+	Total
Espaçamento (E)	0.27	0.01	0.02	0.53
Sombra (S)	0.32	0.10	0.52	0.64
Porção do dossel (PD)	0.01	0.01	0.04	0.01
E X S	0.90	0.02	0.38	0.93
E X PD	0.01	0.26	0.02	0.01
S X PD	0.61	0.73	0.98	0.54
E X S X PD	0.54	0.68	0.74	0.62

O número de capulhos em P1 e total não foi alterado em razão do espaçamento de cultivo, no entanto as plantas cultivadas no espaçamento de 0,76 m produziram mais capulhos de segunda e terceira posições (P2 e P3+) que o espaçamento de 0,45 m (Figura 13). Esse comportamento já era esperado, uma vez que plantas de algodão cultivadas em espaçamento mais largos tendem a um crescimento vegetativo lateral mais intenso, favorecendo a formação de novas posições frutíferas. Em adição, têm-se que em plantas cultivadas em maiores populações, a produção por planta é menor, bem como o número de posições frutíferas nos ramos simpodiais, no entanto o maior número de plantas com frutos de primeira posição por área tende a compensar o número final de capulhos (BEDNARZ et al., 2000).

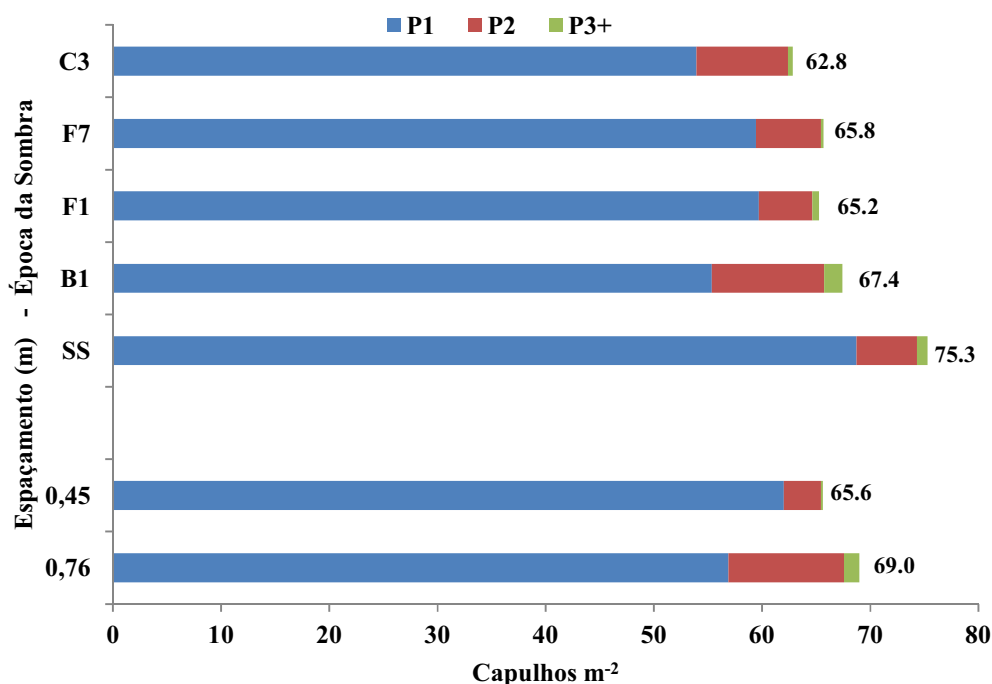


Figura 13. Número de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) de acordo com o espaçamento de cultivo e época de sombreamento. O número ao lado da barra indica o número total de capulhos. Primavera do Leste – MT, 2011. Dms Espaçamento: 5,41; 1,78; 0,60 e 11,01 para P1, P2, P3+ e número total de capulhos. Época da Sombra: não significativo para P1, P2, P3+ e capulhos total.

Conforme observações feitas por Kerby et al. (1990) o algodoeiro semeado a 0,76 m nas populações de plantas de 5, 10 e 15 plantas m^{-2} produziu um total de 89,4, 92,3 e 89,3 frutos m^{-2} , respectivamente, sem diferenças significativas, conforme também foi observado nesse experimento. Apesar de não ter havido diferenças significativas sobre o número de capulhos de primeira posição, as plantas cultivadas no espaçamento de 0,45 m (16,45 plantas m^{-2}) produziram 5% a mais de capulhos de primeira posição do que as cultivadas no espaçamento de 0,76 m (10,96 plantas m^{-2}). Resultados muito semelhantes aos observados por Kerby et al. (1990) com um aumento de 6,9% (de 64,2 para 71,1) no número de capulhos de primeira posição quando se passou de uma população de plantas de 10 para 15 plantas m^{-2} .

O número de frutos de segunda posição foi 68% menor nas plantas cultivadas no espaçamento de 0,45 m (Figura 13), valores esses distintos dos observados por

Kerby et al. (1990), cuja diferença no número de capulhos de segunda posição ou maior foi de apenas 5,4% quando se aumentou a população de plantas de 10 para 15 plantas m⁻². Uma das possíveis explicações para essa divergência seria pela diferença nos espaçamentos entrelinhas, uma vez que no trabalho de Kerby et al. (1990) a população final foi atingida aumentando-se o número de plantas na linha, diferentemente do que foi feito no presente trabalho, onde a maior população de plantas correspondeu ao menor espaçamento. Sendo assim, plantas cultivadas em menores espaçamentos entrelinhas tendem a um menor desenvolvimento de posições frutíferas superiores a primeira, fato esse atrelado à menor ramificação lateral. Apesar disso, o comportamento observado no presente experimento, cuja produção em altas populações de plantas é concentrada em capulhos de primeira posição, foi o mesmo observado por Kerby et al. (1990) e por Jost e Cothren (2000).

Houve interação significativa do espaçamento com a porção do dossel vegetal sobre o número de capulhos produzidos em primeira posição (P1). Plantas cultivadas no espaçamento de 0,45 m produziram maior quantidade de capulhos em P1 no baixeiro do que aquelas cultivadas no espaçamento de 0,76 m (Figura 14), sendo o inverso observado no ponteiro. Em ambos os espaçamentos o terço médio da planta foi a parte mais produtiva seguida do baixeiro > ponteiro no espaçamento de 45 cm e do ponteiro = baixeiro no espaçamento de 0,76 m.

Também o número de capulhos em P2 foi menor no ponteiro das plantas cultivadas no espaçamento de 0,76 m, mas mostrou-se indiferente no espaçamento de 0,45 m (Figura 14). O número de capulhos em P3+ no baixeiro foi maior no espaçamento de 76 cm, e dentro deste espaçamento, o baixeiro foi a parte do dossel com maior número de capulhos em P3 (Figura 14).

O número total de capulhos no terço médio foi maior que no baixeiro e no ponteiro dentro do espaçamento de 76 cm. No entanto, essa distribuição foi alterada no espaçamento de 45 cm, sendo o ponteiro a porção do dossel que apresentou o menor número de capulhos (Tabela 10). O número de capulhos no ponteiro foi maior no espaçamento de 76 cm, no entanto para as outras posições no dossel vegetal não houve diferença entre os espaçamentos.

Não houve efeito da época de incidência da sombra sobre o número de capulhos em P1, P2, P3+ e total (Figura 15). No menor nível de significância ($P > 0.10$) o

número de capulhos em segunda posição (P2) aumentou no tratamento B1, possivelmente como reflexo da sensível diminuição do número de capulhos em P1 nesse tratamento. A distribuição de capulhos no mesmo ramo simpodial é uma característica genética (JENKINS et al., 1990), mas que é fortemente influenciada pelo ambiente, tal como a disponibilidade hídrica (PETTIGREW, 2004b), o espaçamento de cultivo/população de plantas (CLAWSON et al., 2008; GWATHMEY; CLEMENT, 2010) e ao próprio sombreamento (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998a; ZHAO; OOSTERHUIS, 1998b).

Apesar de não ter sido observada diferença significativa, a redução no número de frutos total foi evidente, e a porcentagem de redução dos tratamentos sombreados em relação ao tratamento sem sombra foi muito similar á observada por Zhao e Oosterhuis (1998a) (média de 18% contra 13,5% no presente trabalho), principalmente nos estádios fenológicos B1 (10%) e F1 (13%), e seguiu a mesma tendência (SS>C3) devido ao sombreamento em qualquer estágio fenológico ter aumentado a taxa de abscisão de frutos (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998b).

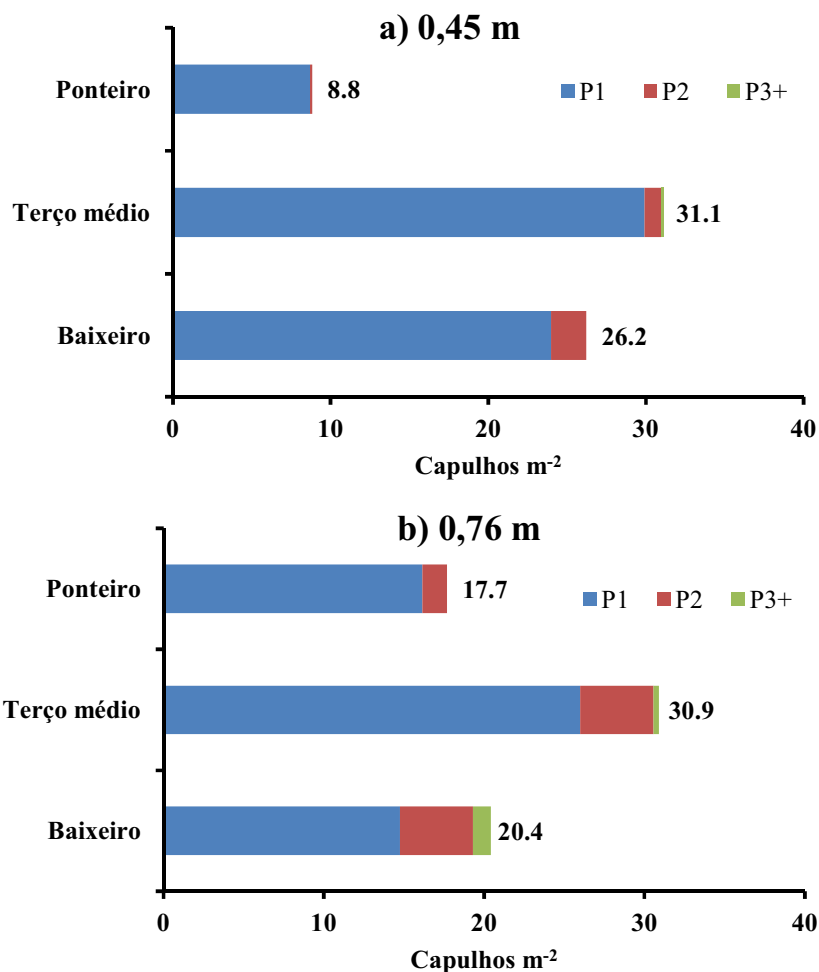


Figura 14. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixo (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas cultivadas nos espaçamentos de 0,48 m (a) e 0,76 m (b). Primavera do Leste – MT, 2011. Dms P1, P2 e P3+, 5,3; 3,9 e 1,4 respectivamente. O valor ao lado da barra indica o número total de capulhos (P1+P2+P3+) em cada parte do dossel.

Não houve efeito da época de sombra sobre o número de capulhos produzidos em P1, no entanto para o menor nível de significância (0.17), houve uma menor produção de capulhos em P1 no terço médio das plantas nos tratamentos F7 e C3. Plantas cultivadas nos tratamentos sem sombra (SS), sombra em B1 e F1 produziram maior número de capulhos em P1 no terço médio das plantas do que no baixo e no ponteiro (Figura 15). Porém, o número de capulhos em P1 no terço médio das plantas sombreadas nos estádios F7 e C3 diminuiu, e igualou-se ao baixo, mostrando assim que para o ambiente safrinha, o maior

efeito da sombra foi observado nas épocas mais tardias (F7 e C3). O número de capulhos produzidos em segunda e terceiras posições (P2 e P3+) não foi influenciado pela época de sombreamento e nem pela porção do dossel (Figura 15).

Não houve interação da porção do dossel com a época de incidência da sombra sobre o número total de capulhos. No entanto, observou-se que nas épocas de sombra mais tardias (F7 e C3) o número total de capulhos produzidos no terço médio sofreu redução, igualando-se ao baixeiro, fato esse que não foi observado nos tratamentos sem sombra, sombra em B1 e F1, cuja distribuição de capulhos no dossel foi: terço médio>baixeiro=ponteiro (Figura 15).

Houve efeito do espaçamento de cultivo sobre a massa do capulho, produtividade de algodão em caroço e produtividade de algodão em fibra (Tabela 10). O algodoeiro cultivado no espaçamento de 0,76 m foi mais produtivo que o algodoeiro cultivado no espaçamento de 0,45 m, e isso ocorreu devido ao maior número de capulhos de segunda posição (Figura 13), que colaborou para um aumento de 5% no número total de capulhos e também ao maior peso individual do capulho, que também foi 5% maior no espaçamento de 0,76 m (Tabela 10). Assim, observou-se que o algodoeiro cultivado no espaçamento de 0,76 m com uma população de plantas 34% menor, produziu 5% mais capulhos, capulhos 5% mais pesados, que culminaram num aumento de 30% na produtividade, tanto em caroço quanto em fibra, uma vez que o rendimento de fibra não foi alterado. Os resultados observados são similares aos encontrados por Kerby et al. (1990), cujo aumento na população de plantas (de 5 para 15 plantas m⁻²) não alterou o número de frutos por metro quadrado.

O número de plantas, o número de capulhos e a produtividade não foram afetados devido a incidência da sombra. Entretanto, houve efeito da sombra sobre o peso médio do capulho e sobre o rendimento de fibra (Tabela 11). O peso do capulho foi menor quando a sombra foi aplicada no estágio fenológico C3, sendo o mesmo observado para o rendimento de fibra (RF) quando a sombra foi aplicada em C3 e F1. O peso do capulho é resultado do enchimento da parede secundária da fibra com celulose, ou carboidratos, sendo assim, a menor disponibilidade de carboidratos devido ao sombreamento reduziu a oferta de carboidratos para formação e enchimento da fibra, tornando-a mais leve, diminuindo assim o peso final do capulho.

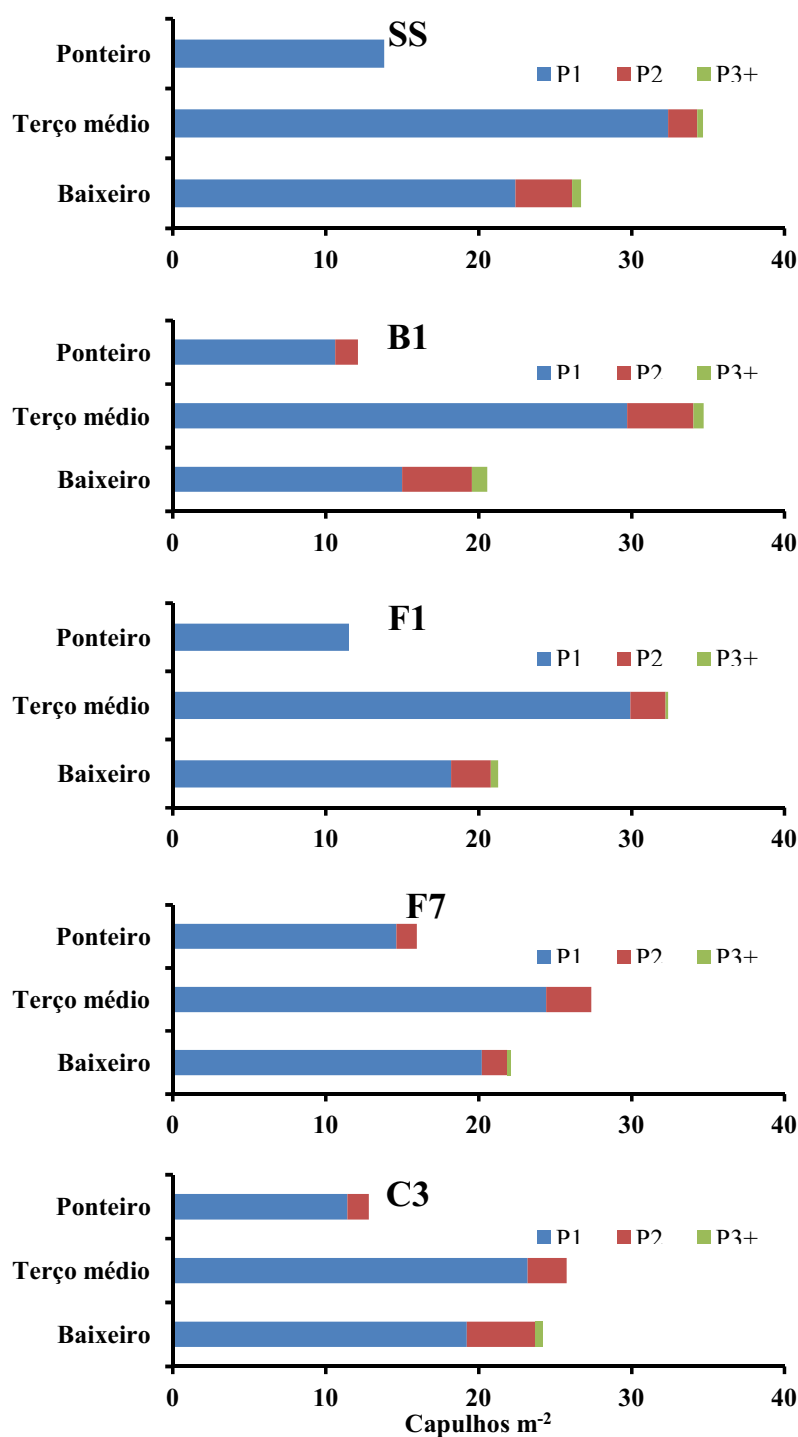


Figura 15. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas sombreadas em B1 (primeiro botão floral), F1 (primeira flor), F7 (primeira flor no sétimo ramo reprodutivo) e C3 (primeiro capulho no terceiro nó) e não sombreadas (SS). Dms 8,60;

2,82; 0,96 e 9,37 (ns) para P1, P2, P3+ e capulhos total, respectivamente. Primavera do Leste – MT, 2011.

Tabela 10. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro em função do espaçamento de cultivo. Primavera do Leste – MT, 2011.

Espaçamento	Plantas	Capulhos	Massa do Capulho	RF*	Algodão em caroço	Algodão fibra
M	m⁻²	m⁻²	g	%	kg ha⁻¹	kg ha⁻¹
0,45	16,45	65,62	4,99 b	41,17	2034 b	837 b
0,76	10,96	69,00	5,27 a	41,16	2634 a	1084 a
Dms(p>Fcal)	1,75(0.01)	11,01(0.53)	0,20(0.01)	0,45(0.95)	264(0.01)	111(0.01)

* rendimento de fibra

Quanto ao rendimento de fibra, a sombra apresentou efeitos nocivos em duas épocas, a primeira quando aplicada na fase F1e a outra na fase C3. É importante salientar que a amostragem para determinação do peso do capulho, bem como do rendimento de fibra foi realizada no terço médio da planta.

Assim, quando as plantas emitiram a primeira flor (F1), os ramos frutíferos do terço médio (5 nós acima) continham botões florais em desenvolvimento e quando as plantas estavam em C3 (primeiro capulho no terceiro nó) os ramos frutíferos do terço médio eram compostos por maçãs em desenvolvimento. A diminuição do rendimento de fibra em F1 pode ser devido ao efeito negativo na produção de carboidratos durante a pré-antese (período anterior a abertura da flor), pois de acordo com Stewart (1986), no período que vai de -2 a +12 dias após a antese o número de fibras da semente é determinado, sendo este fortemente influenciado pela temperatura e pela disponibilidade de carboidratos. Por outro lado, durante a fase C3 o efeito negativo da sombra pode ter aumentado a competição de carboidratos para espessamento da parede celular secundária e enchimento da semente, uma vez que a semente e a fibra são supridas com carboidratos pelo mesmo funículo, e somente após o 45º dia da antese ocorre a desintegração do funículo (BENEDICT et al., 1976).

O micronaire, o comprimento da fibra, a resistência e a maturidade não foram influenciadas pelo espaçamento de cultivo, entretanto a refletância foi maior no espaçamento de 0,45 m (Tabela 12). Poucas diferenças na qualidade da fibra foram observadas por Boykin e Reddy (2010) em relação aos espaçamentos de cultivo, sendo que a refletância também foi maior nos espaçamentos mais estreitos, no entanto os resultados de melhoria na

qualidade da fibra encontrados em dois anos de estudo não foram consistentes. Heithold et al (1993) também não encontraram diferenças significativas para a maioria das características tecnológicas da fibra quando o algodoeiro foi cultivado em espaçamentos de 0,5 e 1,0 metro.

Tabela 11. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro de acordo com a época da incidência da sombra. Primavera do Leste – MT, 2011.

Época da Sombra	Plantas	Capulhos	Massa do Capulho	RF*	Algodão em caroço	Algodão em fibra
	m ⁻²	m ⁻²	g	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
SS	13,15	75,30	5,10 ab	41,15 ab	2521	1035
B1	13,05	67,45	5,31 a	41,75 a	2289	956
F1	13,57	65,28	5,32 a	40,86 b	2235	914
F7	14,21	65,68	5,10 ab	41,35 ab	2329	962
C3	14,56	62,85	4,83 b	40,72 b	2298	937
Dms (p>Fcal)	2,76(0.75)	17,41(0.64)	0,32(0.03)	0,71(0.05)	418(0.68)	175(0.69)

*rendimento de fibra. B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (sem sombra).

Tabela 12. Características intrínsecas da fibra de acordo com o espaçamento de cultivo. Primavera do Leste – MT, 2011.

Espaçamento	Micronaire	Comprimento	Resistência	Reflectância	Maturidade
M	µg in ⁻¹	mm	g tex ⁻¹	%	-
0,45	3,30	28,63	28,80	78,35 a	83,60
0,76	3,25	28,80	28,95	75,55 b	83,60
Dms(p>Fcal)	0,30(0.73)	0,31(0.28)	0,74(0.68)	0,61(0.01)	0,44(0.99)

Não houve efeito da época de incidência da sombra sobre nenhuma característica intrínseca da fibra (Tabela 13). Esses resultados divergem dos resultados observados por Zhao e Oosterhuis (2000) mostraram que a sombra aplicada em qualquer estágio fenológico (primeiro botão floral, início do florescimento, florescimento pleno ou desenvolvimento do fruto) influenciou negativamente o micronaire e a resistência da fibra,

enquanto que outras características não foram afetadas, sendo que a fase de desenvolvimento do fruto foi a mais sensível ao sombreamento. Também Pettigrew (1995) observou um decréscimo na resistência e no micronaire da fibra devido ao sombreamento, mas o comprimento da fibra aumentou no tratamento que foi sombreado.

Tabela 13. Características intrínsecas da fibra de acordo com a época de incidência da sombra. Primavera do Leste – MT, 2011.

Época da Sombra	Micronaire	Comprimento	Resistência	Reflectância	Maturidade
	$\mu\text{g in}^{-1}$	mm	g tex^{-1}	%	-
SS	3,12	28,54	29,00	77,75	83,37
B1	3,50	28,82	28,87	78,12	83,87
F1	3,37	28,70	28,75	78,12	83,87
F7	3,25	28,70	28,62	78,00	83,50
C3	3,12	28,83	29,12	77,75	83,37
Dms (p>Fcal)	0,47(0.42)	0,49(0.75)	1,17(0.91)	0,96(0.86)	0,70(0.37)

B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (sem sombra).

Essa divergência dos resultados obtidos no presente trabalho com os autores citados pode ser reflexo do nível e do tempo de sombreamento adotado (63% durante 8 dias no trabalho de Zhao e Oosterhuis, 2000; 30% por 50 dias no trabalho de Pettigrew, 1995), enquanto que no presente trabalho foi de 50% por 10 dias. Apesar do tempo e do nível de sombreamento serem semelhantes ao de Zhao e Oosterhuis (2000), é preciso considerar que este trabalho foi realizado em ambiente safrinha, sendo que outros fatores como umidade e temperatura durante o florescimento e desenvolvimento do fruto podem também ter influenciado na qualidade da fibra, mascarando o efeito da sombra.

6.3 Ambiente Safrinha em Chapadão do Céu- Goiás, 2011.

Os valores da probabilidade dos fatores isolados bem como de suas interações sobre o número de capulhos em P1, P2, P3+ e total são mostrados na Tabela 14.

O número de capulhos em P1 e total foram maiores no espaçamento de 0,45 m, apesar do número de capulhos em P2 ter sido maior no espaçamento de 0,90 m e o número de capulhos em P3+ não ser diferente entre os espaçamentos (Figura 16). Diferentemente do espaçamento de cultivo, a época de incidência da sombra não alterou o número de capulhos produzidos. No entanto, no menor nível de significância ($P>0.13$), o número total de capulhos produzidos foi menor quando a sombra foi aplicada no estágio fenológico F1 (Figura 16), sobretudo pela menor produção de capulhos em P1 ($P>0.16$).

Tabela 14. Valores de $P>F$ para as variáveis capulhos de primeira posição (P1), de segunda posição (P2), de terceira ou maior (P3+) e capulhos total de acordo com a fonte de variação. Chapadão do Céu – GO, 2011.

Fonte de variação	P1	P2	P3+	Total
Espaçamento (E)	0.01	0.01	0.41	0.01
Sombra (S)	0.16	0.46	0.27	0.13
Porção do dossel (PD)	0.01	0.16	0.13	0.01
E X S	0.01	0.03	0.24	0.26
E X PD	0.01	0.02	0.79	0.03
S X PD	0.29	0.52	0.61	0.54
E X S X PD	0.71	0.50	0.74	0.65

Espaçamento: 0,45 e 0,90 m; Sombra: SS, B1, F1, F7 e C3; Porção do Dossel: Baixeiro, Terço Médio e Ponteiro.

A maior produção de capulhos no espaçamento de 0,45 m ocorreu devido à maior população de plantas nesse espaçamento (28 plantas m^{-2} contra 13 plantas m^{-2} no espaçamento de 0,90 m). No entanto, o número de capulhos por planta foi menor no espaçamento de 0,45 m (2,48) do que no espaçamento de 0,90 m (4,05). Dessa maneira, observou-se que, para essa condição de cultivo (ambiente safrinha), com semeadura tardia e precipitação total de 565 mm durante o ciclo de cultivo (sendo que 86% ocorreu nos primeiros 60 dias – Figura 5), a maior população de plantas foi vantajosa, pois a maior exigência de água pela cultura (Kc) vai do período do pico do florescimento até 25% dos frutos abertos (66-125 dias após o plantio) (KO et al., 2009).

Conforme já discutido anteriormente, não houve efeito significativo da época da sombra sobre o número de capulhos, e isso pode ter acontecido em razão do estresse hídrico ter reduzido o efeito dos tratamentos.

O baixeiro e o terço médio da planta produziram maior quantidade de capulhos que o ponteiro em todas as épocas de sombra (Figura 17). Houve uma tendência de redução (não significativa) do número de capulhos no baixeiro das plantas sombreadas (B1, F1, F7 e C3), seguido de um aumento de capulhos no terço médio, mas que no final não afetou o número total de capulhos. Em trabalho semelhante, Zhao e Oosterhuis (2000) observaram que as sombras nos estádios mais cedo (botão floral e primeira flor) reduziram o número de capulhos nos nós 1 a 6 e 7 a 9, mas a sombra aumentou o número de capulhos nos nós 10 a 12. Sombra mais tardia (pico do florescimento e frutificação) causou uma perda no número de frutos nos nós inferiores e superiores, não havendo compensação.

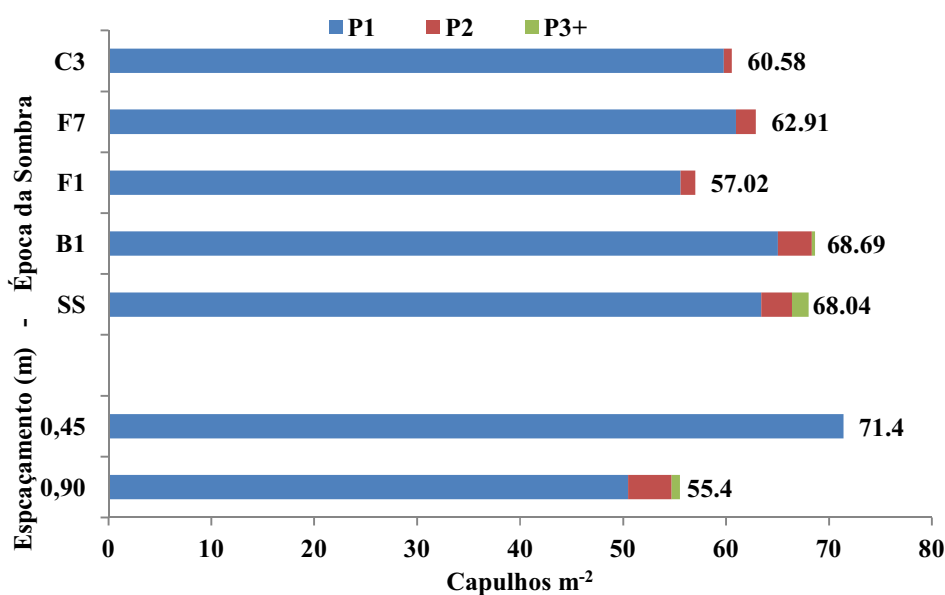


Figura 16. Número de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) de acordo com o espaçamento de cultivo e época de sombreamento. B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (sem sombra). Chapadão do Céu – GO, 2011. O número ao lado da barra indica o número total de capulhos. Dms Espaçamento: 5,03; 2,03; 1,36 e 6,54 para P1, P2, P3+ e número total de capulho, respectivamente. Época da Sombra: não significativo para P1, P2, P3+ e capulhos total.

O número de capulhos em primeira posição no baixeiro e no terço médio da planta foi maior no espaçamento de 0,45 m. No entanto, plantas cultivadas no espaçamento de 0,90 produziram maior quantidade de capulhos em segunda posição no baixeiro (Figura 18). Assim, o número total de capulhos (P1, P2 e P3+) foi maior no espaçamento de 0,45 m, devido ao maior número de capulhos no terço médio das plantas. Apesar dos capulhos terem sido 7% mais pesados nas plantas cultivadas no espaçamento de 0,90 m, o número de capulhos foi o componente de produção determinante e foi maior no espaçamento de 0,45 m devido à maior população de plantas, que resultou em um aumento de 36% na produtividade (Tabela 15).

Assim, em condição de semeadura tardia, com baixa precipitação durante o florescimento e enchimento do fruto, a maior população de plantas compensou a baixa produção de capulhos por planta, bem como o seu peso individual. Dong et al (2006) observaram em dois anos de cultivo, que o algodoeiro semeado em época normal produziu mais quando em menor população de plantas, no entanto quando a semeadura foi tardia, ocorreu o inverso, sendo o algodoeiro mais produtivo em maiores populações de plantas, sobretudo pelo maior número de capulhos produzidos, já que o peso individual dos capulhos diminuiu conforme se aumentou a população.

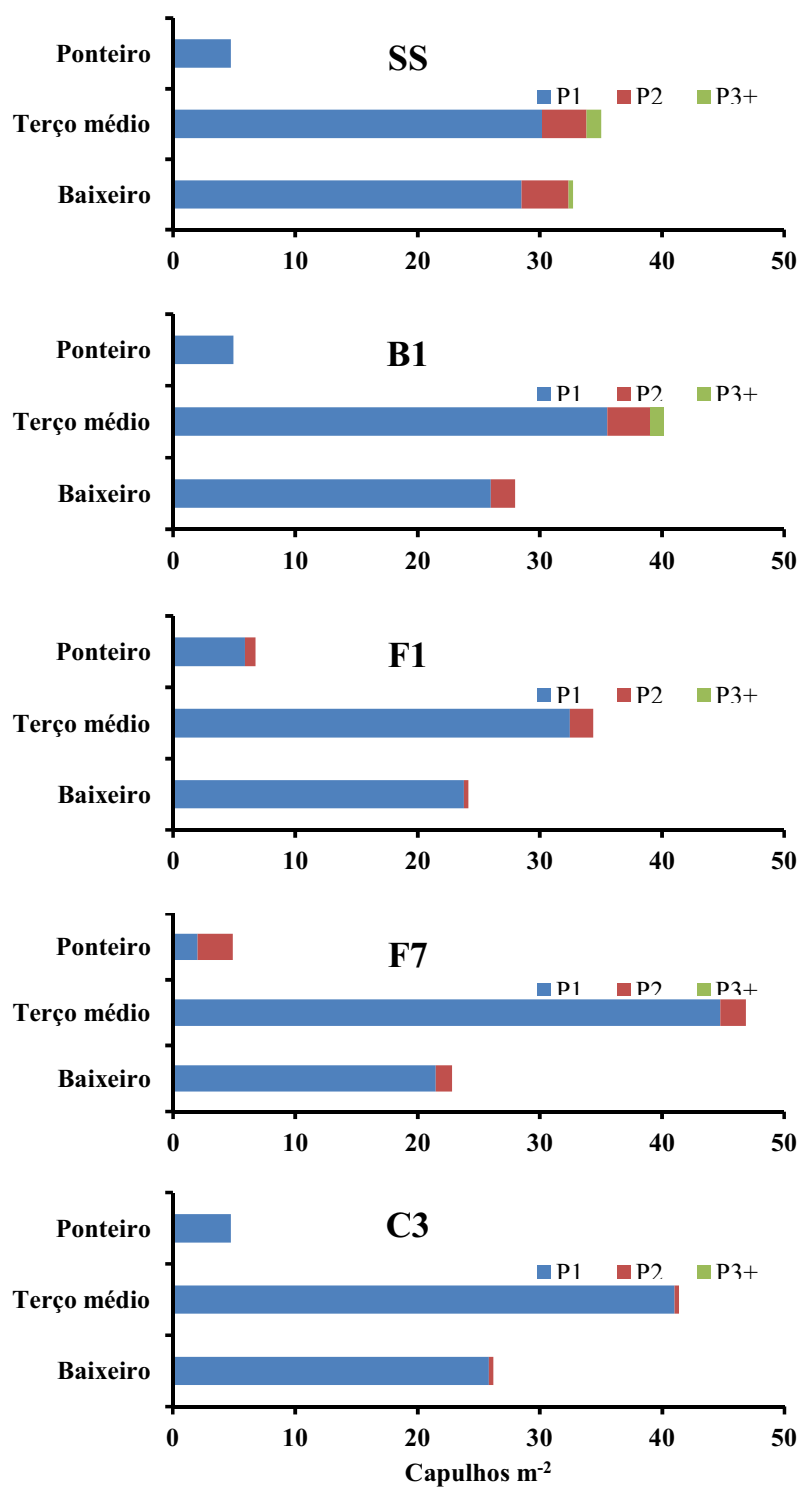


Figura 17. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixeiro (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas sombreadas B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero),

F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (sem sombra). Chapadão do Céu – GO, 2011. Não significativo.

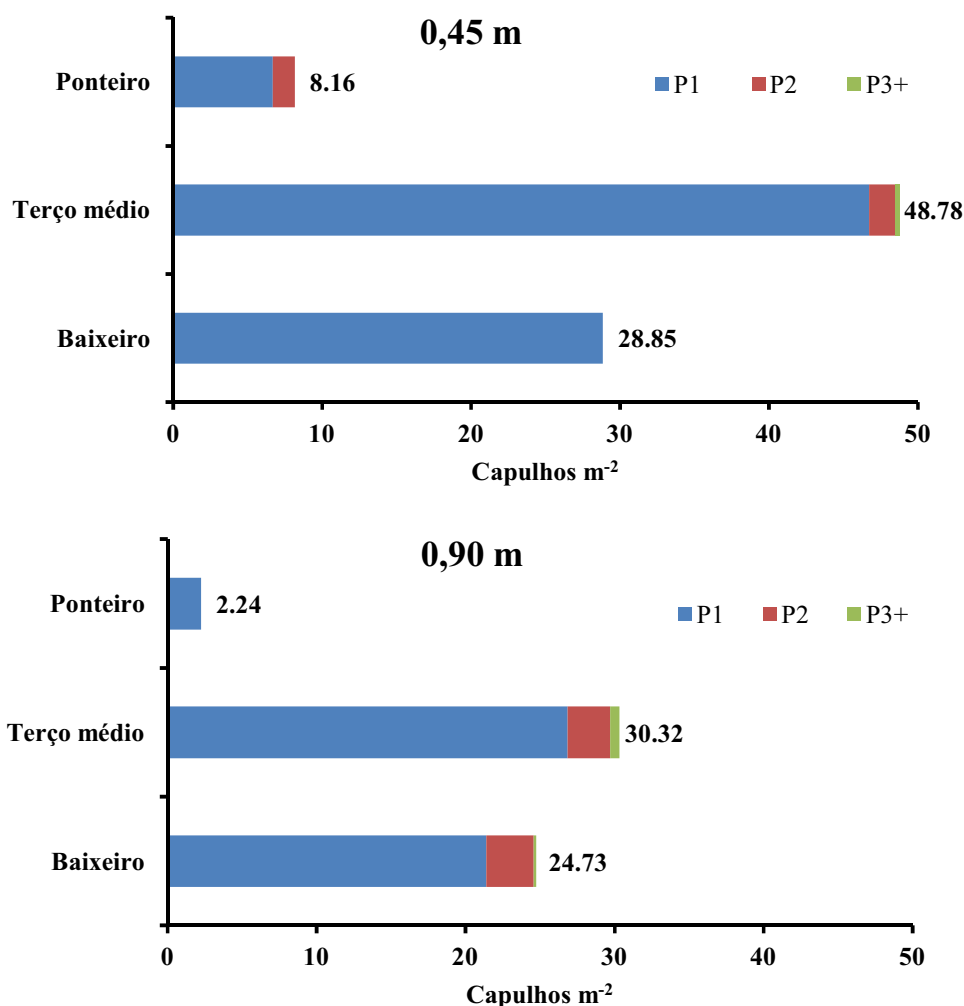


Figura 18. Distribuição de capulhos de primeira (P1), segunda (P2) ou terceira posição ou maior (P3+) no baixo (nós 5-8), terço médio (nós 9-12) e ponteiro (nós 12-15) das plantas. Chapadão do Céu – GO, 2011. Dms 7.26; 2,30; 0.68 (ns) e 8.21 para P1, P2, P3+ e capulhos total, respectivamente.

No presente trabalho, a produção de capulhos e, conseqüentemente, a produtividade foram maiores na maior população de plantas porque as condições de crescimento foram desfavoráveis ao desenvolvimento completo da cultura, não havendo a formação de muitas posições frutíferas por planta. Especificamente para essa situação, o

aumento da população de plantas proporcionou aumento no número de frutos, uma vez que o período de florescimento foi severamente afetado pelo estresse hídrico. Fowler e Ray (1977) observaram que, apesar do número de capulhos ter sido significativamente superior em altas populações (660 mil plantas ha⁻¹), o peso médio do capulho e o rendimento de fibra foram reduzidos com o adensamento de plantas, sendo a produtividade máxima obtida em populações intermediárias (77,5 e 155 mil plantas ha⁻¹), divergindo dos resultados que foram obtidos no presente experimento, cuja maior população de plantas (286 mil plantas ha⁻¹) proporcionou maior produtividade. Por outro lado, Gwathmey et al (2008) observaram que a produtividade do algodoeiro cultivado sem irrigação não foi afetada pela população de plantas (231, 112 ou 85 mil plantas ha⁻¹), no entanto quando cultivado em regime não irrigado foi mais produtivo na população de 112 mil plantas por hectare, sendo que o peso do capulho foi menor em altas populações de plantas, tanto no irrigado quanto no não irrigado.

Dados semelhantes aos obtidos no presente experimento foram observados por Heitholt et al. (1992). Os autores observaram que o algodoeiro semeado em espaçamentos estreitos (0,5 m) obteve produtividade idêntica (1305 contra 1270 kg ha⁻¹ de algodão em fibra) ao semeado no espaçamento largo (1 m) quando semeado precocemente (média de dois anos e de cultivares com folha okra e normal). No entanto quando a época de semeadura foi tardia, o adensamento de plantas aumentou a produtividade das plantas em 20% (877,5 contra 736.25 kg ha⁻¹ de algodão em fibra no espaçamento de 1 m), devido ao maior número de capulhos produzidos. Os autores observaram ainda que a interceptação luminosa foi maior no menor espaçamento em 9% quando semeado em época precoce e 10% na época tardia.

Tabela 15. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro cultivado nos espaçamentos de 0,45 e 0,90m. Chapadão do Céu – GO, 2011.

Espaçamento	Plantas	Capulhos	Massa do Capulho	Algodão em caroço
m	m⁻²	m⁻²	(g)	(kg ha⁻¹)
0,90	13.68 B	55.52 B	5.16 A	1989 B
0,45	28.68 A	71.38 A	4.81 B	2718 A
Dms(p>Fcal)	1,20(0.01)	6.54 (0.01)	0.22(0.01)	396(0.01)

Em alguma magnitude, todos os tratamentos com sombra reduziram a produtividade em relação ao tratamento não sombreado ($P>0.06$), sendo o estádio F1 o mais susceptível ao sombreamento (Tabela 16), e isso ocorreu devido á uma redução no número de capulhos ($P>0.13$) e de menor significância no peso do capulho ($P>0.45$).

Nesse experimento a sombra tardia não foi tão prejudicial, principalmente na fase C3, uma vez que nessa fase a produção já estava definida devido ao estresse hídrico ao qual as plantas foram expostas ter provocado o “cut-out” precocemente.

Heitholt et al. (1992) observaram que o algodoeiro semeado tardiamente em altas populações de plantas, assim como no presente trabalho, foi 48% mais produtivo quando se utilizou cultivares com folhas do tipo okra do que a cultivar com folha normal. Os autores não observaram diferenças de interceptação luminosa sob a mesma população de plantas (espaçamento de 0.5 m para os dois tipos de folha), sendo que o índice de área foliar do algodoeiro com folha okra foi de 3.9 enquanto que o de folha normal foi 5.0.

Gonias et al. (2011) observaram que o índice de área foliar foi maior em isolinhas com folha normal (2.31) que em isolinhas do tipo okra (1.81), no entanto o coeficiente de extinção calculado não diferiu entre as isolinhas, e o uso eficiente da radiação foi maior para a isolinha okra. Os resultados observados por Heitholt et al. (1992) e Gonias et al. (2011) mostram que o aumento excessivo do índice de área foliar pode causar uma diminuição no uso eficiente da radiação, diminuindo a produtividade devido ao autossombreamento causar abortamento dos frutos. De fato foi observado no presente experimento que a redução da luminosidade no início do florescimento (F1) causou uma redução no número de frutos e na produtividade (Tabela 16).

Tabela 16. Componentes de produção e produtividade do algodoeiro de acordo com a época de incidência da sombra. Chapadão do Céu – GO, 2011.

Época da Sombra	Plantas	Capulhos	Peso Capulho	Algodão em caroço
	m ⁻²	m ⁻²	(g)	(kg ha ⁻¹)
SS	21.21	68.04	5.08	2698 A
B1	20.85	68.69	5.02	2049 BC
F1	20.64	57.02	4.78	1949 C
F7	21.23	62.91	5.03	2423 ABC
C3	21.98	60.58	5.02	2651 AB
Dms (p>Fcal)	3.16(0.92)	10.35(0.13)	0.35 (0.45)	627(0.06)

B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (sem sombra).

A refletância foi a única característica tecnológica da fibra que foi influenciada pelo espaçamento de cultivo do algodoeiro, e esta foi maior no algodoeiro cultivado no espaçamento de 0,45 m (Tabela 17). A cor da fibra é determinada pelo grau de refletância e de amarelecimento (b+) (BRADOW; DAVIDONIS, 2000). A cor da fibra também é correlacionada com outras propriedades da fibra, assim fibras com mais brilho, mais brancas são mais maduras e de maior qualidade, sendo a exposição da fibra durante a pré-colheita o principal motivo de degradação da qualidade da fibra (PERKINS et al., 1984). A terminação prematura da maturação da fibra pela aplicação de reguladores de crescimento e desfolhantes, baixas temperaturas ou seca aumentam a saturação de b+ (MOORE, 1996).

O ambiente, a data de semeadura e o genótipo podem afetar a refletância da fibra, sendo que a semeadura tardia teve o mais consistente efeito negativo nessa característica (POTER et al., 1996). No presente experimento a diminuição da refletância da fibra no espaçamento de 0,90 m (menor população de plantas) ocorreu porque as plantas cultivadas nesse espaçamento tiveram maior número de capulhos por planta, sendo expostos ao estresse hídrico por um período maior do que as plantas cultivadas no menor espaçamento.

A respeito de outras características tecnológicas da fibra Heitholt et al. (1993) não observaram efeito do espaçamento de cultivo sobre o índice micronaire, e pouco efeito sobre o comprimento da fibra, mas de pouco importância prática. Brodrick et al. (2010) também não observaram diferenças no comprimento da fibra, micronaire, uniformidade e

índice de fibras curtas entre espaçamentos de 0,25 m e 1 m em seis experimentos. Somente a resistência da fibra foi influenciada pelo espaçamento de cultivo, sendo esta maior no espaçamento mais largo.

No presente experimento não foi observado efeito do espaçamento de cultivo sobre a resistência da fibra (Tabela 17). Quanto ao micronaire, uma das características que mais influencia no ágio/deságio da pluma, há relatos de que o adensamento o diminui (VORIES et al., 2001), outros trabalhos concluíram que o espaçamento/adensamento de cultivo pouco influencia (BOQUET et al., 2005) ou não tenha efeito (BRODRICK et al., 2010; BOYKIN; REDDY, 2010; JOST; COTHREN, 2000), sendo que no presente experimento também não foram notadas diferenças.

Tabela 17. Características intrínsecas da fibra de acordo com o espaçamento de cultivo. Chapadão do Céu - GO, 2011.

Espaçamento	Micronaire	Comprimento	Resistência	Refletância	Maturidade
M	$\mu\text{g in}^{-1}$	mm	g tex^{-1}	%	-
0.90	3.98	25.87	28.26	77.87 b	85.2
0.45	3.89	26.14	28.59	79.08 a	85.3
Dms(p>Fcal)	0,13(0.16)	0,37(0.13)	0,59(0.25)	0,90(0.01)	0.39(0.79)

B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (sem sombra).

A redução do índice micronaire em lavouras com alta população de plantas tem sido reportada em alguns trabalhos (VORIES et al., 2001) e de maneira geral observada em lavouras comerciais, entretanto o principal motivo da redução do índice micronaire pode não ser o adensamento e sim a época de semeadura, pois o algodoeiro cultivado em segunda safra possui menor disponibilidade de recursos, principalmente baixas temperaturas na fase de maturação, pois sob temperaturas baixas a fotossíntese pode ser limitada pela disponibilidade de fosfatos no cloroplasto (GEIGER; SERVAITES, 1994). Adicionalmente tem-se que a atividade da Sucrose Synthase é alterada sob temperaturas extremas, impedindo assim que os açúcares sejam transportados das folhas para os frutos, portanto o crescimento e desenvolvimento das fibras fica limitado (SHU et al., 2009). De fato Heitholt et al. (1993) não observaram efeitos dos espaçamentos de semeadura (0,5 e 1,0 m) no

índice micronaire, mas houve efeito da data de semeadura devido ao menor acúmulo de graus-dia.

Silva (2007) observou que o micronaire foi menor, mas não consistente, no espaçamento de 0,30 m em um experimento conduzido em Leme, SP no ano agrícola de 1999/00, mas não houve diferença no experimento em Campinas. No ano agrícola seguinte o micronaire foi menor no espaçamento mais estreito nos dois locais. A autora também avaliou o efeito do número de plantas na linha (7 ou 10 plantas por metro) e não observou efeito da população de plantas no índice micronaire. Assim, o efeito maior parece ser mais do ambiente de cultivo do que do próprio espaçamento/população de plantas.

O micronaire e a maturidade da fibra foram as únicas características tecnológicas da fibra influenciadas pela sombra (Tabela 18). A sombra aplicada na fase do primeiro botão floral aumentou o índice micronaire. Resultados similares foram observados por Zhao e Oosterhuis (2000) em que a sombra de oito dias aplicada no início do estágio de “pinhead square” ou botão floral aumentou o índice micronaire, mas os autores não elucidam o porquê desse comportamento, uma vez que era esperada uma redução na taxa fotossintética, na produção de carboidratos e uma consequente redução no índice micronaire (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998b), mas isso não ocorreu.

O espessamento da parede secundária da fibra, que resulta no índice micronaire, começa cerca de 14-16 dias após a antese (DAA) e encerra aos 42 DAA (STEWART, 1986), sendo essa a fase em que o algodoeiro é mais susceptível às condições de estresse, principalmente baixa luminosidade e temperatura. Entretanto, conforme observado no presente experimento e no trabalho de Zhao e Oosterhuis (2000) a sombra na fase B1 aumentou o índice micronaire.

Uma das possíveis explicações para isso ter ocorrido no presente experimento foi que a sombra pode ter atrasado o desenvolvimento das estruturas reprodutivas, pois conforme reportado por Hadi et al. (2006) em feijão, a sombra aumentou o tempo até o florescimento e a consequente maturidade fisiológica. Durante a fase de maturação da fibra (16-42 dias após a antese) foram observadas quedas nas temperaturas, uma com pico em 02/05/11 e outra em 27/06/11, aonde as temperaturas médias chegaram à 17 e 12°C respectivamente. Para os frutos que tiveram desenvolvimento normal (sem sombra) as

baixas temperaturas na semana do dia 02/05/11 coincidiram com o período do início da deposição de celulose na parede secundária, e sob baixa temperatura a atividade da sucrose syntase é baixa, havendo limitado transportados de carboidratos das folhas para os frutos, limitando também o engrossamento da fibra (SHU et al., 2009). Por outro lado, os frutos que receberam a sombra no início do estágio B1, podem ter tido o seu desenvolvimento atrasado, o que proporcionou um escape desse período de baixa temperatura e a fibra pôde se desenvolver sob temperaturas ideais (Vide Figura 5 em Material e Métodos).

Como reflexo do índice micronaire, a maturidade também foi maior no tratamento que recebeu sombra na fase B1 do que no tratamento sem sombra e sombra em F1 (Tabela 18), e isso ocorreu pelos mesmos motivos explicados anteriormente, devido às baixas temperaturas. De acordo com Roussopoulos et al. (1998) tanto a alta incidência luminosa (75 W m^{-2}) quanto as altas temperaturas ($30/20^\circ\text{C}$) foram responsáveis pela maior taxa de maturidade da fibra, sendo que quando um desses fatores foi combinado com baixa luminosidade (50 W m^{-2}) ou baixa temperatura ($26/16.5^\circ\text{C}$) a fibra foi mais imatura.

O comprimento, a resistência e a refletância não foram alterados pela imposição da sombra (Tabela 18). Alguns trabalhos relatam que a aplicação da sombra tende a aumentar o comprimento da fibra, desde que combinado com o aumento da temperatura (ROUSSOPOULOS et al., 1998); no entanto outros relatam não haver diferenças significativas (ZHAO; OOSTERHUIS, 2000; PETTIGREW, 2001), assim como foi observado no presente trabalho.

Tabela 18. Características intrínsecas da fibra de acordo com a época de incidência da sombra. Chapadão do Céu – GO, 2011.

Época da Sombra	Micronaire	Comprimento	Resistência	Refletância	Maturidade
	$\mu\text{g in}^{-1}$	Mm	g tex^{-1}	%	-
SS	3.81 b	25.97	28.48	78.90	85.0 bc
B1	4.16 a	25.87	28.11	78.88	85.7 a
F1	3.82 b	25.94	28.62	78.70	84.7 c
F7	3.96 ab	26.16	28.65	78.52	85.5 ab
C3	3.92 b	26.10	28.26	77.37	85.3 ab
Dms(p>Fcal)	0,21(0.01)	0,58(0.84)	0,93(0.72)	1.43(0.18)	0.62(0.02)

B1 (primeiro botão floral visível), F1 (primeira flor branca no primeiro ramo frutífero), F7 (primeira flor branca no sétimo ramo frutífero), C3 (primeiro capulho no terceiro ramo frutífero) e SS (sem sombra).

Quanto a resistência da fibra, essa característica mostrou-se mais susceptível tanto a baixa temperatura quanto á baixa luminosidade (ROUSSOPOULOS et al. (1998) ou somente ao sombreamento (ZHAO; OOSTERHUIS, 2000; PETTIGREW, 2001), contrariamente ao que foi observado no presente trabalho. A resistência da fibra é um fator que está fortemente relacionado com outras características intrínsecas da fibra, tais como o comprimento, finura, peso molecular da celulose, orientação das microfibrilas que compõe a fibra, entre outros (MEREDITH, 1992), entretanto no presente trabalho apesar da diferença no índice micronaire, as épocas de sombra não afetaram a resistência da fibra (Tabela 18).

6.4 Respostas fisiológicas do algodoeiro à idade da folha e ao sombreamento.

A resposta fotossintética das folhas do algodoeiro ao envelhecimento e á luminosidade é mostrada na Figura 19. Em folhas não sombreadas a taxa fotossintética atingiu o seu valor máximo em folhas com idade de 23 dias ($24,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Por outro lado, as folhas que foram pré-condicionadas em regime total de luminosidade e sombreadas no momento da avaliação tiveram suas trocas gasosas diminuídas com o aumento da idade, mostrando que o efeito instantâneo da sombra reduziu significativamente as trocas gasosas, mais do que devido ao envelhecimento. Os dois tratamentos em que as folhas foram pré-condicionadas ao sombreamento por quatro dias mostraram-se indiferentes quanto a presença ou não de sombra no momento da avaliação, mostrando que mesmo após um período de baixa luminosidade, a incidência luminosa não reestabeleceu a capacidade fotossintética da folha, havendo diminuição das trocas gasosas com o aumento da idade da folha (Figura 19).

As folhas a pleno sol (pré-condicionamento sem sombra e sem sombra no momento da avaliação) apresentaram maior taxa fotossintética do que as outras combinações quando essas tinham 30 dias de idade, mas não houve diferença significativa nas demais idades avaliadas (Figura 19).

Por outro lado, Sassenrath-Cole et al. (1996) observaram que a taxa fotossintética de folhas do algodoeiro foi muito mais influenciada pela idade da folha do que pela incidência luminosa, passando de aproximadamente $50 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 15 dias após

o desdobramento da folha para menos de $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 65 dias. De fato foi observado nesse experimento que a idade da folha determina a eficiência fotossintética, mas a luminosidade também é muito importante, pois a sombra no menor nível de incidência (folhas pré-condicionadas no sol e submetidas ao sombreamento no exato momento da avaliação) tiveram sua eficiência fotossintética diminuída com a redução da luminosidade em 50% em relação às folhas não sombreadas (Figura 19).

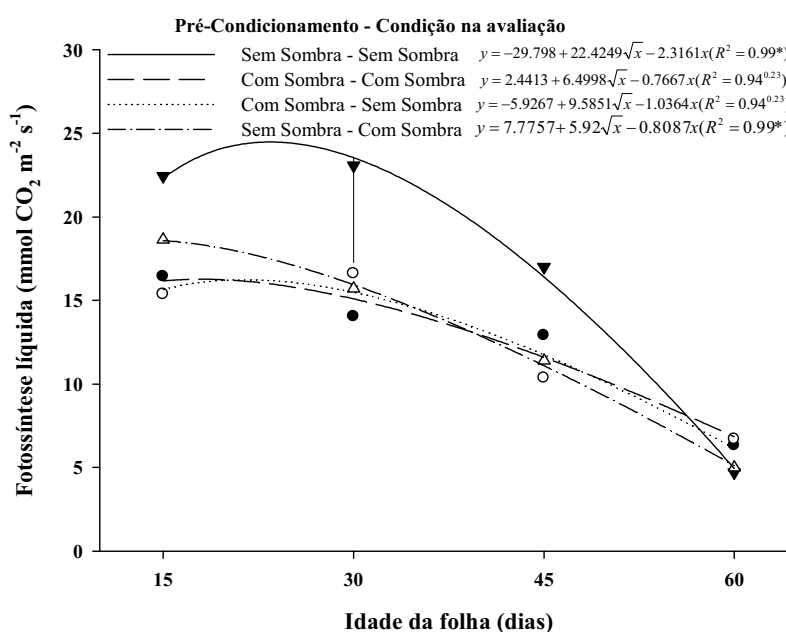


Figura 19. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro de acordo com a sua idade, submetidas ao pré-condicionamento (com sombra(Δ) ou não ($\blacktriangledown$) durante 4 dias antes da avaliação) e à condição no momento da avaliação (com sombra ($\circ$) ou sem sombra ($\bullet$)). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%. Botucatu, 2009/2010. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 6.32(0.03).*Significativo á 1%.

O autossombreamento e o envelhecimento das folhas ocorrem concomitantemente dentro do dossel vegetal, uma vez que para as folhas mais velhas, justamente as da parte inferior do dossel vegetal, há pouca disponibilidade de luz devido ao sombreamento causado pelas folhas superiores. Wullschleger e Oosterhuis (1990b) observaram que as folhas posicionadas na parte superior do dossel, portanto as mais novas, recebendo intensidade luminosa de $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ fixaram CO_2 á uma taxa de $32.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,

enquanto que as folhas posicionadas no terço inferior do dossel, recebendo uma DFFFA de $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fixaram somente $10.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os resultados encontrados no presente experimento corroboram com o que foi verificado por Wullschleger e Oosterhuis, pois as folhas mais novas e expostas á completa radiação solar fixaram maior quantidade de CO_2 .

As variáveis envolvidas no aumento ou no decréscimo da fotossíntese com o aumento da idade da folha são a expansão da área foliar, teor de nitrogênio na folha, incidência luminosa e condutância estomática ao CO_2 (g_s), sendo que a resposta da taxa fotossintética e da g_s á densidade de fluxo de fótons incidente é altamente dependente da idade da folha (WULLSCHLEGER; OOSTERHUIS, 1990a), conforme também foi observado no presente trabalho.

Não houve efeito da sombra em nenhuma das combinações testadas sobre a condutância estomática ao CO_2 (Figura 20). Publicações anteriores confirmam que a abertura e o fechamento dos estômatos são controlados por outros fatores além da luz (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998ab; PASTERNAK; WILSON, 1973) como o estresse hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2010), a concentração de CO_2 no ambiente (ROELFSEMA; HEDRICH, 2005) e a nutrição potássica da planta (COCHRANE; COCHRANE, 2009). No entanto, é sabido que a luz azul, com comprimento de onda de 450-500 nm, atua na abertura dos estômatos, através do aumento do potencial elétrico negativo nas células guarda, e esse potencial dirige a absorção de K^+ ; também a luz vermelha (650-680 nm) em alta intensidade tem papel na abertura estomática, via redução da concentração intercelular de CO_2 no mesofilo, mas a resposta à luz azul parece estar associada á luz vermelha, uma vez que a abertura dos estômatos em resposta á uma luz azul fraca ($5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) só aconteceu quando as plantas receberam uma forte irradiação com luz vermelha ($600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (SHIMAZAKI et al., 2007).

Estudos conduzidos por Yates (1989) mostraram que a quantidade de luz transmitida no comprimento de onda do azul e do vermelho através de um sombrite de cor verde com 70% de redução da luminosidade foi cerca de 35%. No presente trabalho foi utilizado um sombrite de cor preta, com redução de 50% na luminosidade e de acordo com Toomey et al. (1995) a transmitância desse tipo de material é de 28% e não modifica a distribuição dos comprimentos de onda. Assim, a ausência de efeito da sombra sobre a condutância estomática pode estar relacionada ao nível de sombreamento adotado, pois a

quantidade de luz incidida mesmo nos tratamentos sombreados pode ter sido suficiente para estimular a abertura dos estômatos.

Em relação ao efeito da idade da folha, foi observado que a condutância estomática diminuiu com envelhecimento da folha (Figura 20). De acordo com Constable e Rawson (1980) a idade da folha determina a condutância estomática, e em folhas do algodoeiro a g_s é crescente e máxima aos 25 dias, a partir de quando decresce, devido principalmente à remobilização do nitrogênio das folhas mais velhas (BONDADA; OOSTERHUIS, 1998) e a perda da integridade da membrana do cloroplasto (BONDADA, OOSTERHUIS, 2002).

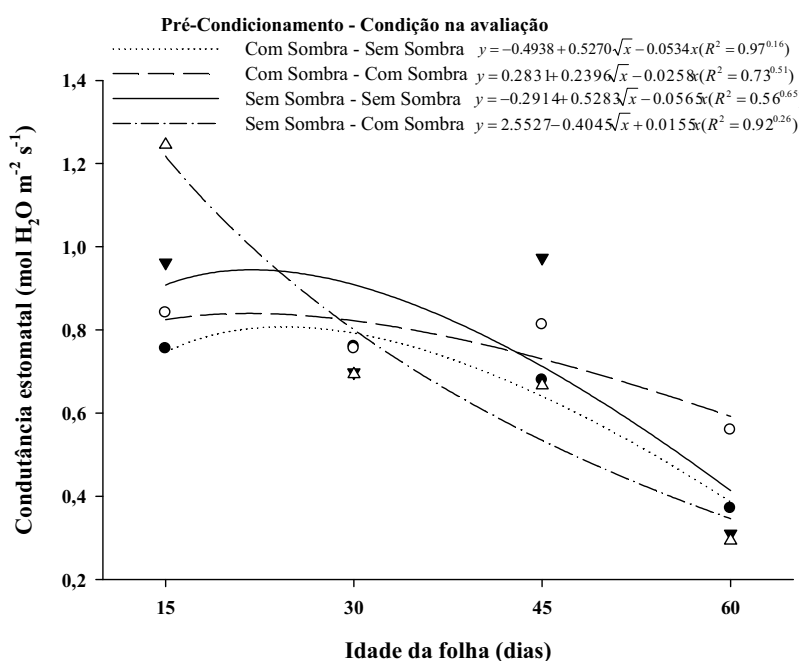


Figura 20. Condutância estomática de folhas do algodoeiro de acordo com a sua idade, submetidas ao pré-condicionamento (com sombra (△) ou não (▼) durante 4 dias antes da avaliação) e à condição no momento da avaliação (com sombra (○) ou sem sombra (●)). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%. Botucatu, 2009/2010. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 0.45 (ns). Não significativo.

Menor concentração intercelular de CO_2 (C_i) foi observada em folhas com 30 dias de idade não sombreadas (Figura 21) como resultado da maior taxa fotossintética (Figura 19), mas não foi observada diferença na C_i em razão do aumento da idade da folha.

Estudos prévios mostraram que a idade da folha pouco afetou a C_i (CONSTABLE; RAWSON, 1980), mas o aumento da luminosidade via efeito indireto pelo aumento da fotossíntese, diminuiu a C_i (XU; HSIAO, 2004; SMITH; LONGSTRETH, 1994). O aumento da concentração intercelular de CO_2 sugere uma limitação fisiológica do aparelho fotossintético muito importante, pois se a C_i não reduz em relação ao ambiente é porque a fixação de carbono está sendo limitada. De fato quando a fixação de CO_2 foi máxima (Figura 19) a C_i foi mínima (Figura 21), mostrando que houve coerência entre as variáveis estudadas.

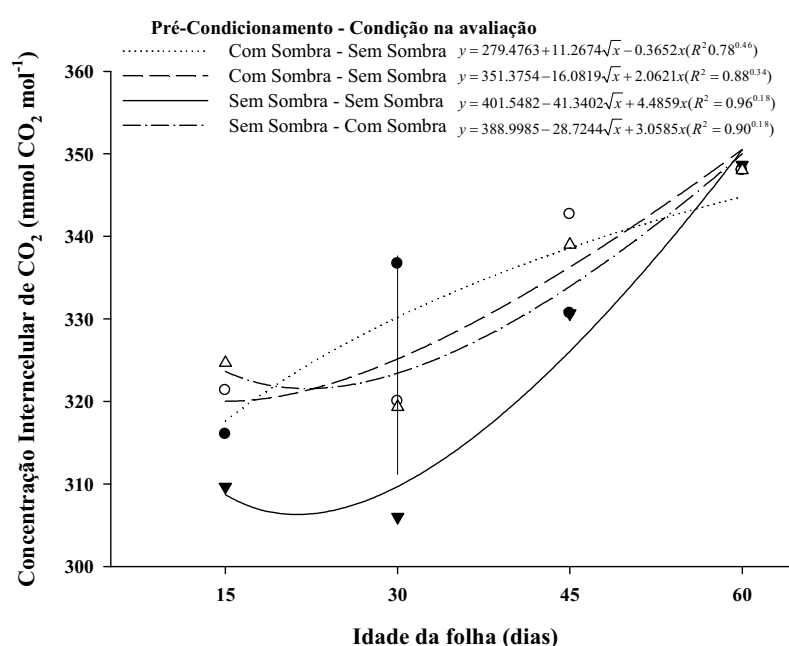


Figura 21. Concentração intercelular de CO_2 de folhas do algodoeiro de acordo com a sua idade, submetidas ao pré-condicionamento (com sombra (Δ) ou não ($\blacktriangledown$) durante 4 dias antes da avaliação) e à condição no momento da avaliação (com sombra ($\circ$) ou sem sombra ($\bullet$)). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%. Botucatu, 2009/2010. Diferença mínima significativa (Teste t de Student): 27 (0.05).

Apesar da luminosidade ter influenciado a taxa fotossintética em folhas mais jovens, de 30 dias (Figura 19), a idade da folha é a limitação fisiológica mais importante. Como o algodoeiro apresenta hábito de crescimento indeterminado, o envelhecimento das folhas ocorre concomitantemente com a formação de novas folhas no ponteiro, desde que existam condições favoráveis para isso. Acontece que após os 90 dias do plantio as folhas novas não compensam o envelhecimento das folhas após o fechamento do

dossel (WULLSCHLEGER; OOSTERHUIS, 1992).

Lu e Zhang (1998) observaram que folhas senescentes de milho apresentaram redução de 45% na taxa fotossintética, de 58% na condutância estomática e aumento de 45% na concentração intercelular de CO₂.

Mudanças fisiológicas e anatômicas ocorrem com o aumento da idade da folha, como o aumento do número de cloroplastos, principalmente no parênquima paliádico (WILD, WOLF, 1980), bem como o seu tamanho (BISWAL et al., 2012; OKAZAKI et al., 2009). Outras mudanças ocorrem na crista da mitocôndria, condensação do núcleo e severas modificações na estrutura dos tilacóides. Essas modificações resultam na transdiferenciação do cloroplasto em um gerontoplasto (gerontoplast), pois durante a senescência foliar a célula perde moléculas essenciais tais como proteínas, lipídeos, ácidos nucléicos, e nutrientes, especialmente o nitrogênio, que é remobilizado (LIU et al., 2008) sendo as proteínas e lipídios do estroma os maiores alvos para a degradação. Adicionalmente, ocorre a degradação dos pigmentos fotossintéticos, clorofilas e carotenoides, sendo que os fitohormônios e as espécies reativas de oxigênio (ROS) atuam na transdução do sinal para iniciação, continuidade e término do processo de senescência (BISWAL et al., 2012).

A longevidade das células, de um tecido e, portanto, de uma folha, é geneticamente programada (TAIZ; ZEIGER, 2010). Estudos conduzidos com mutantes de *Arabidopsis* têm identificado genes ligados à senescência foliar e elucidado alguns processos relacionados a senescência foliar (LIM; NAM, 2007).

A senescência foliar é um processo complexo influenciado por fatores internos como por exemplo hormônios: citocininas, etileno, auxina, jasmonatos, ácido abscísico, ácido salicílico; e externos, como radiação UV-B ou ozônio, deficiência de nutrientes, calor ou frio, seca, sombra ou ataque de patógenos, que levam, por caminhos distintos e interconectados, à morte celular (LIM et al., 2007). Kim et al (2011) observaram que em mutantes de *Arabidopsis* (*yuc6-1D*) com altos níveis de ácido indol acético livre a senescência foi atrasada, direta ou indiretamente, regulando a expressão de genes associados à senescência.

6.5 Trocas gasosas em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa e do sombreamento.

A taxa fotossintética aumentou com o aumento da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA) em folhas de 15 dias, tanto para as folhas submetidas ao sombreamento prévio de 50% de redução na luminosidade por 4 dias, quanto para as mantidas a pleno sol (Figura 22). Entretanto, a taxa fotossintética em folhas mantidas na luz foi maior que as folhas sombreadas a partir da densidade de fótons de $900 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Dessa forma, o aumento da DFFFA até $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ não foi o suficiente para que a taxa fotossintética em folhas sombreadas atingissem os níveis das folhas mantidas á luz, sugerindo um efeito negativo da sombra, mesmo após a folha não possuir mais restrição quanto à luminosidade.

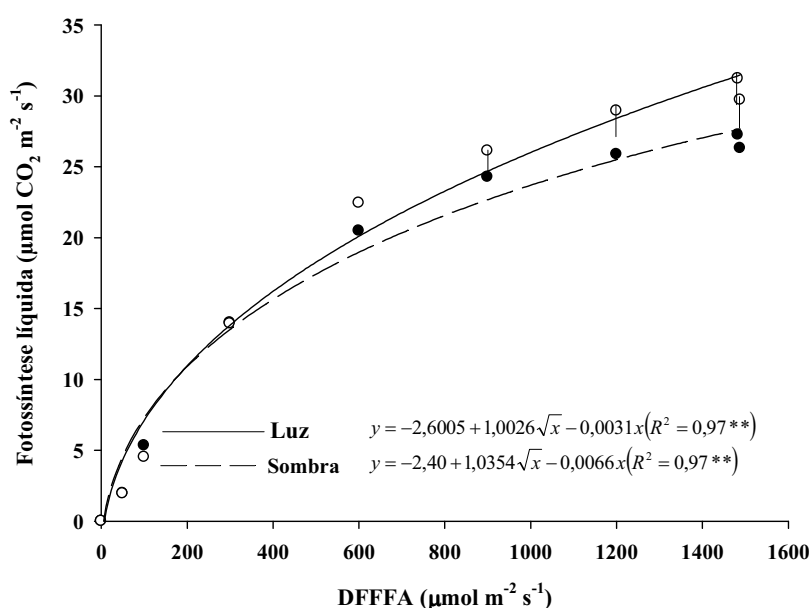


Figura 22. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro de acordo densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA), previamente sombreadas (●) ou mantidas á luz (○). O nível de sombreamento aplicado foi de 50%, durante 4 dias que precederam a avaliação. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 2.06 (0.01). **Significativo á 1%.

Resultados similares foram observados por Zhang et al. (1995) em uma planta C3, da família das compostas (*Encelia farinosa*) cujas plantas sombreadas em 40%

da incidência luminosa, mesmo recebendo uma DFFFA de $1600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ não atingiram as taxas fotossintéticas das plantas expostas ao sol, havendo ainda diminuição na taxa de transporte de elétrons e, conseqüentemente, no conteúdo de carboidratos.

Em outras culturas, mas de mecanismo fotossintético igual ao algodoeiro (C3), Greer et al (2011) observou que folhas de videira expostas ao sol tiveram taxas fotossintéticas muito maiores do que as folhas que foram sombreadas (redução de 70% na luminosidade), e que as folhas completamente iluminadas obtiveram uma saturação luminosa em torno de $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, enquanto que as folhas à sombra atingiram a saturação com uma densidade luminosa de $450 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. No presente trabalho não foi observada diferença no ponto de saturação luminosa das folhas expostas à luz ou sombreadas, mostrando que para folhas com 15 dias de idade a sombra, apesar de ter diminuído a taxa fotossintética, não antecipou o ponto de saturação luminosa, que não foi atingido mesmo para as folhas completamente iluminadas. Esses resultados confirmam o que foi observado por Sassenrath-Cole et al. (1996), que a saturação luminosa em folhas de 14 dias não foi atingida (DFFFA máxima de $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), no entanto conforme as folhas envelheceram a DFFFA onde a fotossíntese foi máxima diminuiu.

A condutância estomática (g_s) aumentou significativamente com o aumento da DFFFA, e o aumento foi mais pronunciado em folhas expostas ao sol do que nas folhas condicionadas ao sombreamento (Figura 23). Assim como a taxa fotossintética (Figura 22), a g_s em folhas sombreadas foi menor em todas as DFFFA e também não voltou aos patamares das folhas expostas à luz. Particularmente nesse experimento, em folhas de 15 dias de idade, a sombra reduziu a g_s , pois de acordo com Leymarie et al (1998) a luz causa a abertura dos estômatos, especificamente a luz azul (450-500 nm) e a luz vermelha (650-680 nm) em alta intensidade têm maior importância na abertura dos estômatos (SHIMAZAKI et al., 2007; ZEIGER; FIELD, 1982). As trocas gasosas (CO_2 e vapor d'água) são reguladas pelo controle da abertura estomática (condutância) e pelo número de estômatos na epiderme. Em resposta à variação das condições ambientais como a intensidade luminosa, a concentração de CO_2 atmosférico e aos hormônios (principalmente ABA) a abertura e o desenvolvimento dos estômatos são alterados (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003).

Além do efeito direto na abertura dos estômatos, a sombra ou a menor luminosidade pode reduzir o número de estômatos (SCHLÜTER et al., 2003), o que também diminui a condutância estomática, uma vez que a medida é feita por área.

Petersen et al. (1991) conduziram um experimento à campo para determinar o principal fator responsável pelo fechamento dos estômatos, e consequentemente a condutância estomática. Os autores mediram o sombreamento causado em dias nublados e esta foi em torno de 36-41% da incidência luminosa. A conclusão foi de que a luminosidade foi o primeiro fator a governar a abertura dos estômatos em plantas sem estresse hídrico (potencial hídrico da folha de -1.09 Mpa), ou submetidas a um estresse mediano (-1.85 Mpa). No entanto em plantas com severo estresse hídrico (-2.35 Mpa), a luminosidade não surtiu tanto efeito, uma vez que o maior limitante foi o estado hídrico da planta.

Foi observado ainda que uma folha completamente expandida, no topo do dossel, condicionada a uma radiação de $1950 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sendo então submetida ao sombreamento ($120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) apresentou uma súbita redução da condutância estomática, saindo de 14 mm s^{-1} para 2 mm s^{-1} 15 minutos após a restrição luminosa. Ao ser removida a sombra, a condutância estomática aumentou, atingindo o valor máximo de 9 mm s^{-1} após 25 minutos da remoção da sombra. Então, mesmo sem a restrição luminosa, uma folha previamente sombreada não atingiu a mesma condutância estomática obtida quando ela estava iluminada (PETERSEN et al., 1991). Comportamento similar foi observado no presente trabalho, cuja condutância estomática em uma folha sombreada não alcançou os patamares de uma folha completamente iluminada, mesmo após a restrição luminosa ser retirada e a densidade de fluxo de fótons ser crescente (Figura 23).

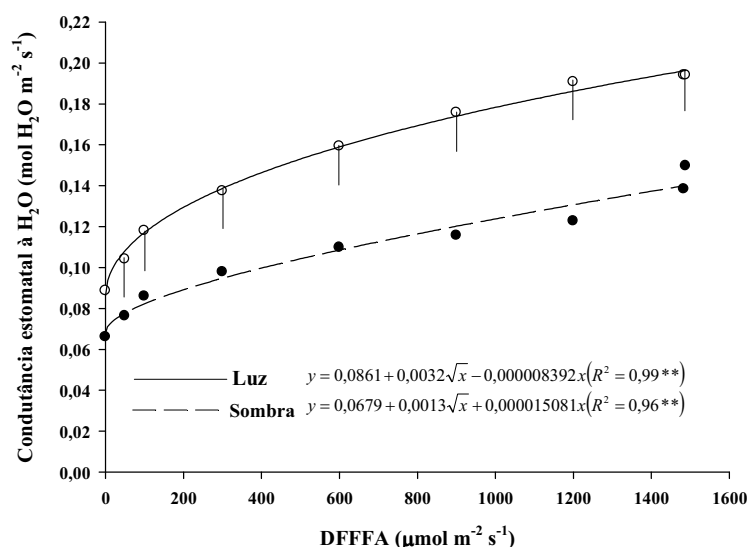


Figura 23. Condutância estomática de folhas do algodoeiro de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA), previamente sombreadas (●) ou mantidas à luz (○). Botucatu – SP, 2009/2010. O nível de sombreamento aplicado foi de 50%, durante 4 dias que precederam a avaliação. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 0.02 (0.01).**Significativo á 1%.

Houve redução da concentração intercelular de CO_2 (C_i) com o aumento da intensidade luminosa, sendo a redução muito mais pronunciada em folhas condicionadas á sombra (Figura 24). A redução da C_i na câmara sub-estomática ocorre devido a fixação do carbono pela fotossíntese, sendo portanto dependente da incidência luminosa, ou através do aumento da resistência dos estômatos á entrada de CO_2 na célula, podendo ocorrer em situações de pouca incidência luminosa (MESSINGER et al. 2006). De fato observou-se no presente trabalho que as folhas sombreadas apresentaram menor C_i em resposta á densidade de fluxo de fótons, o que pode ter ocorrido devido á menor g_s provocada pela sombra (Figura 23). Por outro lado, em plantas completamente iluminadas o decréscimo da C_i decorreu da maior fixação de carbono em resposta ao aumento da luminosidade (Figura 22).

Resultados de experimentos conduzidos a campo mostraram que a C_i no algodoeiro aumentou em folhas sombreadas, reflexo da menor taxa fotossintética (ZHAO; OOSTERHUIS, 1998b). A redução média nas concentrações de CO_2 da atmosfera (C_a) para as cavidades subestomatais (C_a-C_i) em folhas de dicotiledôneas herbáceas com luminosidade saturada é de $125 \pm 5 \mu\text{mol mol}^{-1}$, quando a C_a é de $360 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (WARREN, 2008). Considerando-se que o ponto de saturação luminosa do algodoeiro é em torno de $1100 \mu\text{mol}$

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (CONSTABLE; RAWSON, 1980), no presente experimento a C_i em folhas iluminadas nessa densidade de fótons foi de $67 \mu\text{mol mol}^{-1}$ enquanto que em folhas sombreadas foi de $-6 \mu\text{mol mol}^{-1}$, evidenciando que a sombra restringiu a entrada de CO_2 na câmara sub-estomática (Figura 24).

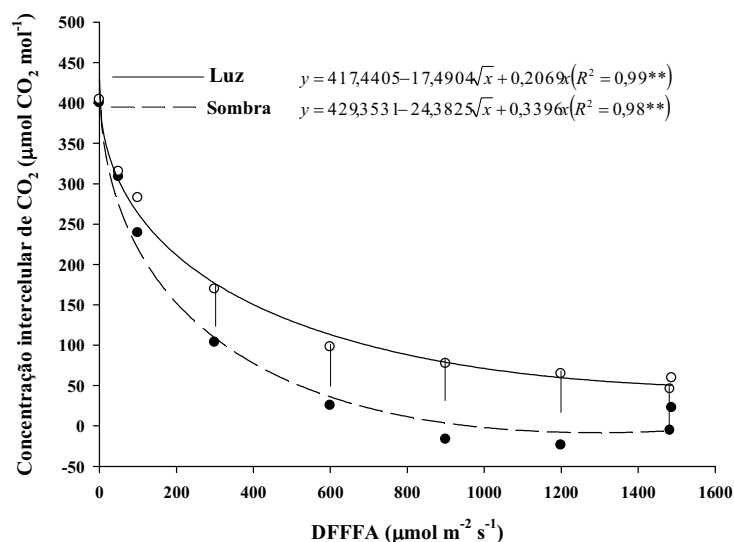


Figura 24. Concentração intercelular de CO_2 em folhas do algodoeiro de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa, previamente sombreadas (●) ou mantidas à luz (○). Botucatu – SP, 2009/2010. O nível de sombreamento aplicado foi de 50%, durante 4 dias que precederam a avaliação. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 46.40 (0.01). **Significativo à 1%.

6.6 Efeito da idade da folha e da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa nas trocas gasosas da planta

A fotossíntese líquida foi maior em folhas de 15 e 30 dias somente a partir da densidade de fótons de $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 25). A saturação luminosa também foi influenciada pela idade da folha, sendo em torno de 900 e $1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para folhas de 15 e 30 dias, respectivamente. No entanto, o ponto de saturação luminosa (95% da máxima taxa fotossintética) diminuiu para $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em folhas de 45 dias e para $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em folhas de 60 dias (Figura 25), mostrando que em folhas mais velhas que 45 dias, a fotossíntese é limitada por outros fatores, não relacionados com a intensidade luminosa.

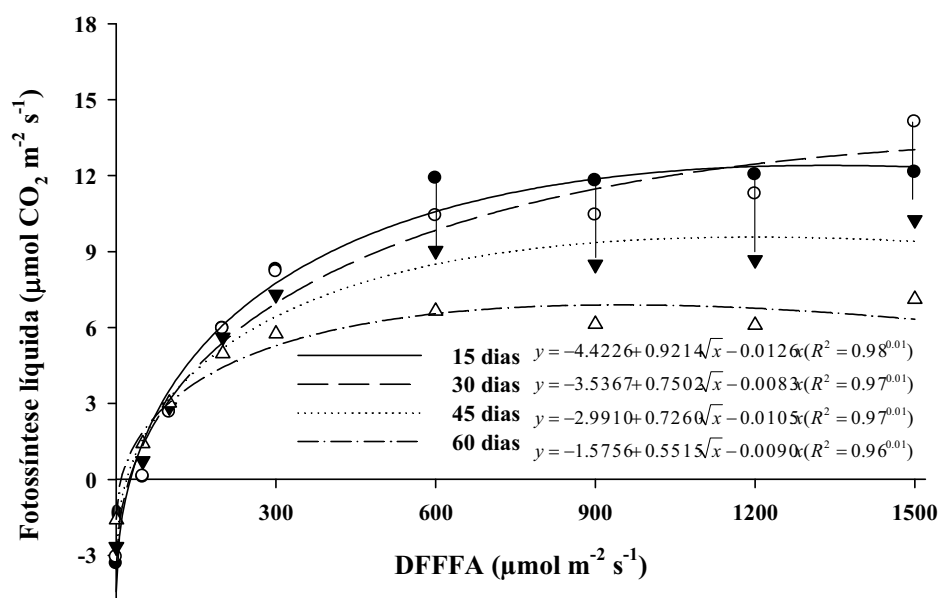


Figura 25. Taxa fotossintética de folhas do algodoeiro com 15 (●), 30 (○), 45 (▼) ou 60 dias (△) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA). Botucatu – SP, 2009/2010. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 3.06 (0.01). Significativo á 1%.

Observações anteriores mostraram que a resposta fotossintética da idade da folha á luz apresenta-se em forma de parábola, com resposta máxima das folhas mais jovens (menos que 15 dias) sob intensidade luminosa de 800 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; conforme as folhas atingem a idade de 16-18 dias a resposta á luminosidade aumenta, sendo a taxa fotossintética máxima atingida com a DFFFA de 1100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; a partir daí a resposta á luminosidade diminui, atingindo a saturação luminosa em folhas de 27 dias com a densidade de 750 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; aos 44 dias a saturação ocorre na DFFFA de 600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e em folhas com idade superior á 60 dias a saturação é atingida com 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (CONSTABLE; RAWSON, 1980).

Comparando-se os resultados do presente experimento com os de Constable e Rawson (1980) descritos anteriormente, observa-se que houve similaridade na saturação luminosa em pelo menos três idades da folha, aos 15, 45 e 60 dias. Porém, os resultados divergem em folhas 30 dias no presente experimento com as de 27 dias do experimento de Constable e Rawson, que apesar de não serem iguais, são próximas.

Diferenças nas taxas fotossintéticas em folhas de idade similar foram observadas em diferentes genótipos, e essa variação ocorre devido às diferenças fisiológicas de cada cultivar e a diferente resposta ao ambiente (PETTIGREW; TURLEY, 1998; PETTIGREW, 2004b; LEVI et al., 2009; FLOOD et al., 2011), incluindo a intensidade luminosa (PETTIGREW, 2004a) e essa pode ter sido a razão dos diferentes pontos de saturação luminosa em folhas com idade menor ou igual a 30 dias.

O ponto de compensação de luz (intensidade luminosa onde a fixação de carbono se equivale com a respiração) foi menor em folhas mais velhas (19 e $9,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em folhas de 45 e 60 dias, respectivamente), em relação às folhas mais jovens (26 e $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em folhas de 15 e 30 dias) (Figura 26), ratificando a menor resposta à luminosidade conforme as folhas envelhecem, pois a demanda por luz diminuiu. Resultados similares foram observados por Constable e Rawson (1980), cujo ponto de compensação luminosa foi de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo maior em folhas com 20 dias de idade. Pettersen et al. (2010) observaram que conforme as folhas envelheciam, do topo para o baixiero da planta, o ponto de compensação luminosa diminuía, similarmente ao que foi observado no presente experimento.

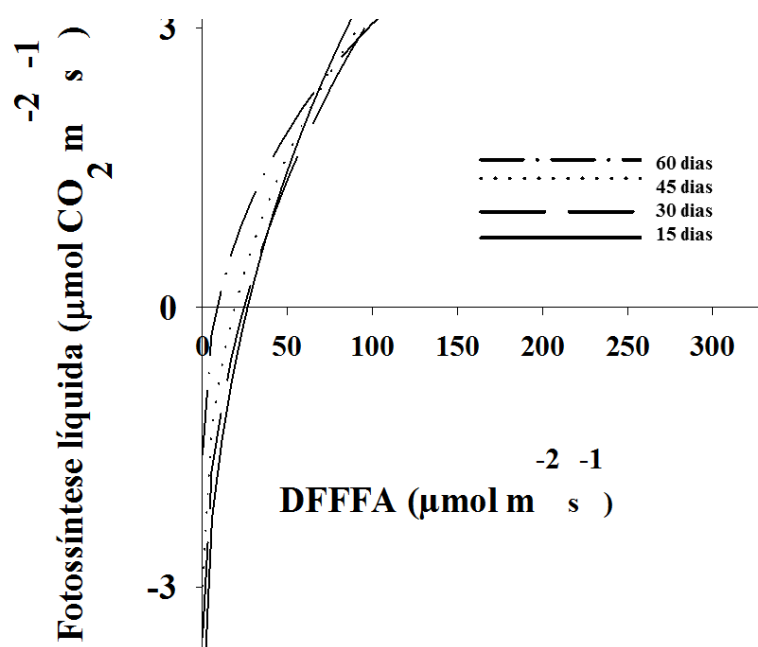


Figura 26. Ponto de compensação de luz de acordo com a idade da folha e da densidade de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA). As equações de regressão são as mesmas apresentadas na Figura 25. Botucatu – SP, 2009/2010.

A condutância estomática (g_s) foi maior em folhas jovens em densidades de fótons superiores a $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sobretudo nas de 15 dias de idade (Figura 27). Folhas com idade superior a 45 dias mostraram uma tendência de diminuição da g_s com o aumento da intensidade luminosa, apesar de que para todas as idades a g_s aumentou com uma incidência luminosa moderada de até $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mas em maior escala para folhas jovens. Sob uma densidade luminosa de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Constable e Rawson (1980) observaram que a condutância estomática foi crescente até os 25 dias de idade, a partir de onde decresceu, atingindo valores seis vezes menores aos 70 dias do que em folhas de 25 dias.

Os resultados observados no presente experimento corroboram os observados por Sun et al. (2009) em algodoeiro, que reportaram aumento da condutância estomática com o aumento da intensidade luminosa, sobretudo até a densidade de fótons de $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Por outro lado, Kakani et al. (2004) mostraram que a g_s foi maior em folhas de 21 dias do que em folhas do algodoeiro de 12 e 30 dias de idade, sob uma intensidade luminosa de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 360 ppm de CO_2 .

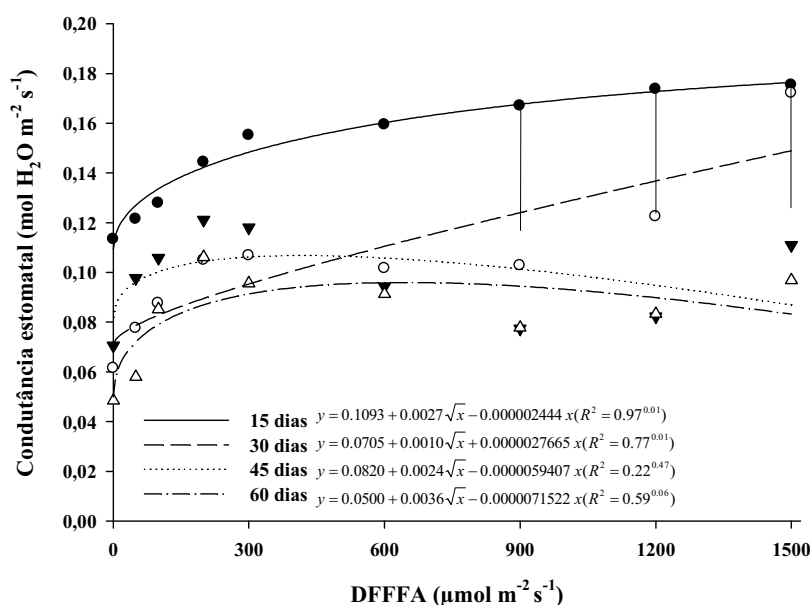


Figura 27. Condutância estomática em folhas do algodoeiro com 15 (●), 30 (○), 45 (▼) ou 60 dias (△) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA) Botucatu – SP, 2009/2010. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 0.06 ($p > 0.01$). Significativo a 1%.

Em quiabo, uma malvácea C3, assim como o algodoeiro, Whitehead e Singh (1995) relataram que a resposta da condutância estomática à idade da folha, que recebeu intensidade luminosa de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, foi em forma de parábola, com o ponto de máxima aos 25 dias, sendo esta a idade em que foi observada a maior taxa fotossintética.

A concentração intercelular de CO_2 (C_i) em folhas do algodoeiro diminuiu conforme aumentou a intensidade luminosa, atingindo um nível constante de $210 \mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ em folhas de 15 e 60 dias a partir da densidade de fótons de $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo que nessa mesma DFFFA a C_i em folhas de 30 e 45 dias foi de $170 \mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ (Figura 28). Conforme discutido anteriormente, a redução da C_i na câmara sub-estomática ocorre devido a fixação do carbono pela fotossíntese, sendo portanto dependente da incidência luminosa, ou através do aumento da resistência dos estômatos à entrada de CO_2 no mesofilo, podendo ocorrer em situações de pouca incidência luminosa (MESSINGER et al. 2006). Assim, a maior C_i em folhas de 60 dias pode ser explicada devido à redução da taxa fotossintética (Figura 25) bem como da g_s (Figura 27). Mesmo sem diferenças significativas entre as idades da folha dentro de cada densidade de fótons, fato esse também observado por Zhou et al. (2009), as folhas de 15 dias, que apresentaram as maiores taxas fotossintéticas (Figura 25) bem como a maior g_s apresentaram ajuste da curva similar a das folhas de 60 dias, sendo o mesmo comportamento observado entre folhas de 30 e 45 dias (Figura 28). Entretanto, em milho, uma gramínea C4, Xu et al. (2011) observaram maior C_i em folhas mais velhas (parte basal da planta), diferentemente do que foi observado aqui.

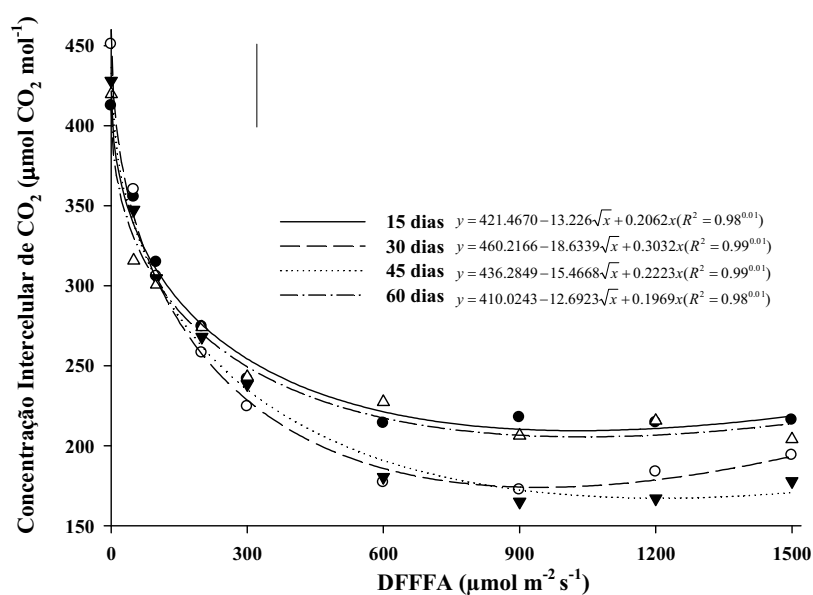


Figura 28. Concentração intercelular de CO_2 em folhas do algodoeiro com 15 (●), 30 (○), 45 (▼) ou 60 dias (△) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA). Botucatu – SP, 2009/2010. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 50.79 (barra vertical) (não significativo)

Folhas mais jovens apresentaram maiores taxas transpiratórias conforme o aumento da intensidade luminosa (Figura 29). Altas correlações entre taxa fotossintética e a taxa de transpiração e entre a taxa fotossintética e a condutância estomática foram obtidas por Ko e Piccinni (2009) em algodão, indicando que as maiores taxas fotossintéticas ocorreram com altas taxas transpiratórias, portanto foram diretamente proporcionais.

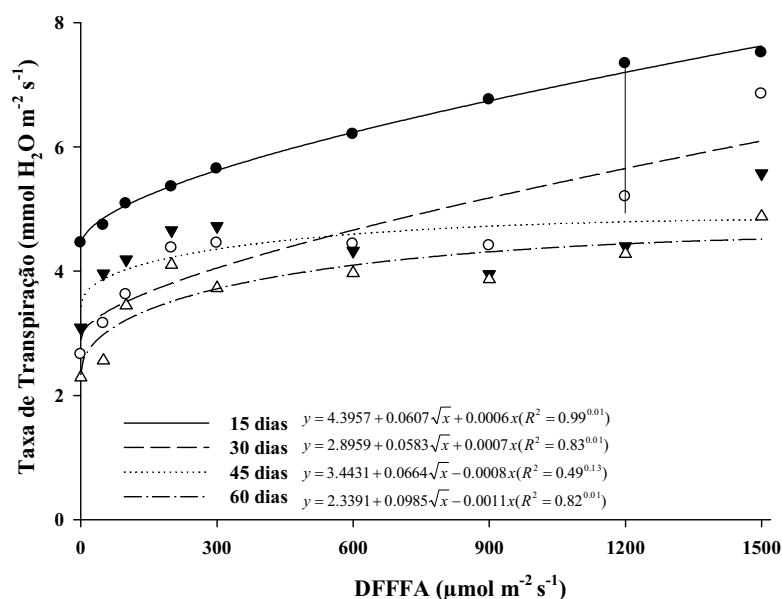


Figura 29. Taxa de transpiração das folhas do algodoeiro com 15 (●), 30 (○), 45 (▼) ou 60 dias (△) de idade e de acordo com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA). Botucatu – SP, 2009/2010. Diferença mínima significativa (Teste t de Student) 2.42 ($p > 0.01$).

No presente trabalho, sob a densidade de fótons de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, folhas com idade de 15 dias apresentaram maiores taxas transpiratórias que folhas de 45 e 60 dias, mas iguais as das folhas de 30 dias, sendo que nas duas menores idades da folha foram obtidas as maiores taxas fotossintéticas (Figura 25) e as maiores condutâncias estomáticas (Figura 27). Para as demais densidades de fótons não houve diferença entre as idades da folha. Porém, Xu et al. (2011) observaram maiores taxas transpiratórias em folhas da parte basal do que as do meio e do topo em uma planta de milho sob uma intensidade luminosa de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Um dos primeiros sinais de envelhecimento da folha é a degradação da clorofila e a remobilização de nitrogênio para as folhas e tecidos mais jovens (LIU et al., 2008), sendo que em condições de baixa disponibilidade de N há decréscimo na condutância estomática ao CO_2 (REDDY et al., 1996), na condutividade hidráulica (RADIN; BOYER, 1982), potencial osmótico da folha, potencial de turgor, transpiração e consequentemente a expansão e a área foliar (REDDY et al., 1996). Portanto, a redução da taxa de transpiração de acordo com o envelhecimento ocorre devido à menor atividade fisiológica da folha.

6.7 Efeito da alta temperatura noturna nos estádios fenológicos de botão floral e florescimento

Maiores taxas respiratórias em folhas do algodoeiro ao final da segunda semana do estágio de botão floral e da terceira semana do florescimento foram observadas no tratamento em que as plantas foram mantidas sob altas temperaturas noturnas (Figura 30).

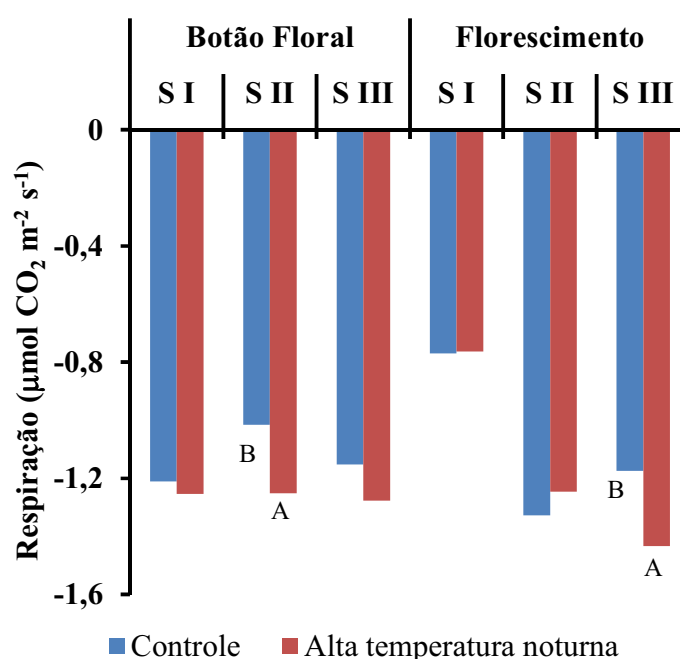


Figura 30. Taxa respiratória de folhas do algodoeiro ao final da primeira (SI), segunda (SII) e terceira semana (SIII) do período de estresse nos estádios de botão floral e florescimento. Fayetteville - AR, 2011/2012. A>B pelo t de Student. LSD(P>F) botão floral: 0.18(0.01) e LSD(P>F) florescimento: 0.24(0.04)

Estes resultados são similares aos observados por Lawrence e Holaday (2000), que obtiveram maiores taxas respiratórias em plantas de algodão sob temperatura noturna de 28°C que o controle de 19°C e por Loka e Oosterhuis (2010), que observaram taxas respiratórias maiores no tratamento com elevada temperatura noturna da ordem de 28°C ao final da segunda semana do estágio de botão floral. Assim, pode se inferir que, no período de botão floral, as plantas seriam mais sensíveis ao aumento da temperatura noturna, com o aumento da respiração já a partir da segunda semana, enquanto que no estágio de

florescimento foi preciso um período mais longo para as plantas aumentarem a sua respiração (Figura 30).

As plantas submetidas à alta temperatura noturna a partir do início do florescimento cresceram sob condições ideais de temperatura antes do período de estresse (32/24°C), sendo que o acúmulo de reservas nesse período pode ter sido suficiente para que as plantas suportassem o estresse sem ter que aumentar a taxa respiratória, no entanto na terceira semana houve aumento da respiração (Figura 30). A respiração é o componente do sistema fotossintético mais sensível a estresses, principalmente à variação da temperatura (RYAN, 1991). Além do aumento da respiração com o aumento da temperatura, há uma interação entre fotorrespiração e fotossíntese, que fica mais evidente de acordo com o aumento da temperatura (TAIZ e ZEIGER, 2010). De fato foi observado que a taxa fotossintética foi alterada na segunda semana de estresse no estágio de botão floral, mas não na terceira semana de estresse no florescimento (Figura 31).

O efeito negativo da alta temperatura noturna sobre a fotossíntese também foi observado por Prasad e Djanaguiraman (2011) em sorgo mantido sob temperaturas noturnas da ordem de 28°C por 8 horas durante 10 dias, com decréscimo da ordem de 22% na taxa fotossintética em relação ao tratamento com temperaturas noturnas ótimas (22°C). Os autores observaram que o dano ao sistema fotossintético causado pela alta temperatura noturna pode estar relacionado ao menor conteúdo de clorofila *a* e ao maior dano na membrana dos tilacóides nesse tratamento. Em outras plantas de mecanismo fotossintético C3, Mohammed e Tarpley (2011) também observaram menores taxas fotossintéticas em arroz submetido às altas temperaturas noturnas da ordem de 32°C, e isso ocorreu devido ao dano causado no sistema fotossintético, principalmente à redução do teor de clorofila *a* e ao conteúdo de nitrogênio. Entretanto, tem-se que o efeito da alta temperatura noturna sobre a taxa fotossintética no dia seguinte pode ser negativo, positivo ou nulo (MOHAMMED e TARPLEY, 2009; FRANTZ et al., 2004). De todas as seis avaliações realizadas no presente experimento (três durante o estágio de botão floral e três durante o florescimento), foi observado efeito negativo somente uma vez (segunda semana da fase de botão floral – Figura 31), não havendo diferenças nas outras cinco.

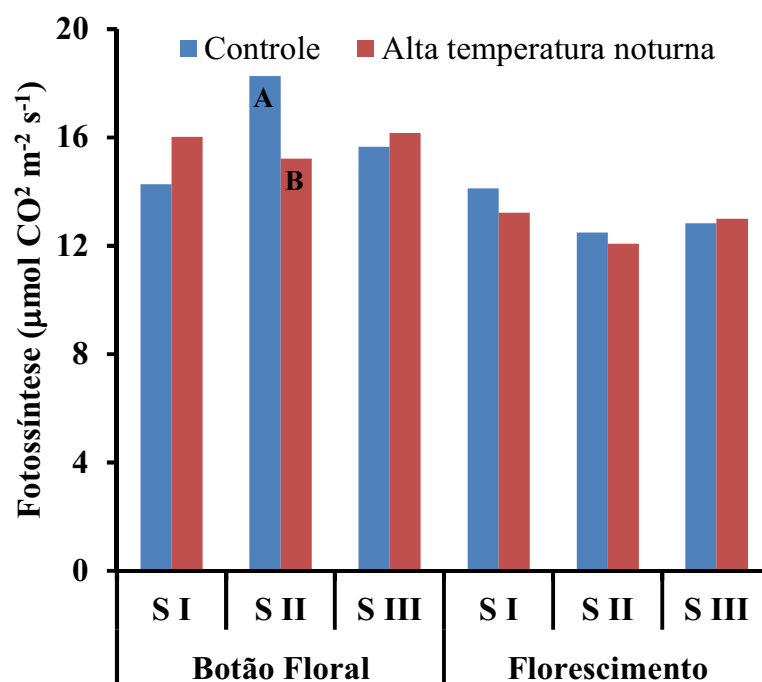


Figura 31. Fotossíntese líquida de folhas do algodoeiro ao final da primeira (SI), segunda (SII) e terceira semana (SIII) do período de estresse nos estádios de botão floral e florescimento. Fayetteville - AR, 2011/2012. A>B pelo t de Student. LSD(P>F) botão floral: 2.10(0.01)

Singh et al (2005) observaram que a fotossíntese líquida diminuiu cerca de 12% em plantas de algodão crescidas sob temperaturas noturnas frias de 28/9-17°C em relação àquelas que foram cultivadas em temperatura normal, de 28/24°C. Também, conforme o estresse evoluiu, as plantas foram parcialmente aclimatadas e se ajustaram às condições do ambiente, e como reflexo disso a fotossíntese não foi drasticamente afetada. Assim, no presente experimento, pode ter ocorrido a aclimação das plantas à alta temperatura noturna, com pouco ou nenhum efeito sobre a taxa fotossintética.

Folhas de plantas mantidas sob alta temperatura noturna por três semanas do início do estresse na fase de botão floral apresentaram menor fluorescência da clorofila (eficiência do fotossistema II – PSII) quando submetidas à temperaturas foliares de 35 e 40°C (Figura 32). Em ambos os tratamentos, alta temperatura noturna (29°C) e temperatura noturna ótima (24°C), as plantas tiveram a fluorescência do PSII diminuída com o

aumento da temperatura de 25 até 40°C, no entanto, a redução foi muito mais severa nas plantas pré-condicionadas ao estresse de alta temperatura noturna, mostrando que a ATN pode ter danificado o aparelho fotossintético da planta, que pode ter sido o responsável pela redução da taxa fotossintética (Figura 31).

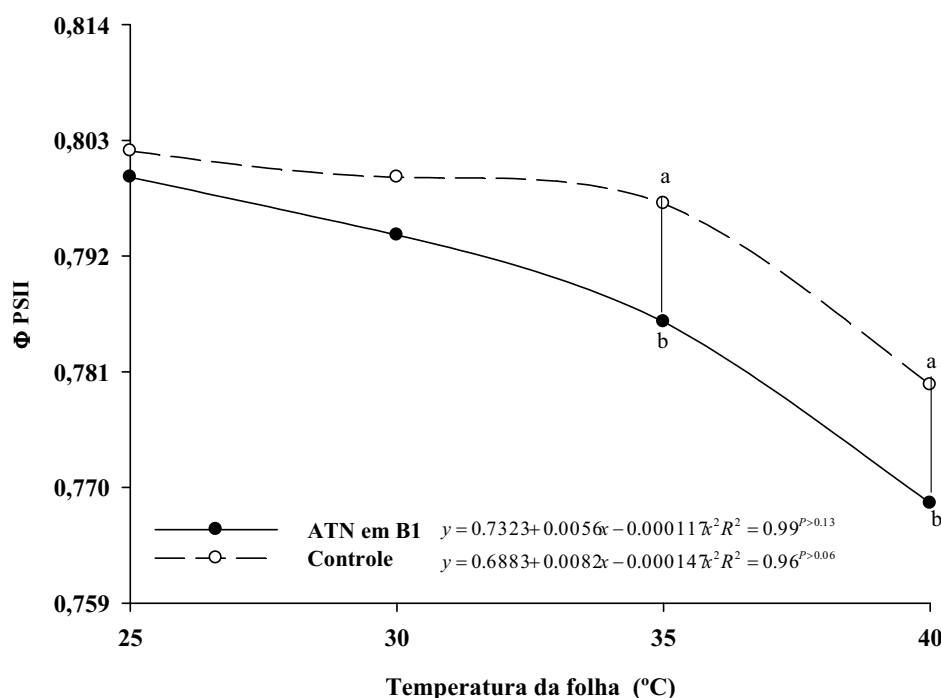


Figura 32. Efeito da temperatura na eficiência quântica do fotossistema II (Φ PSII) em folhas do algodoeiro submetidas ao pré-condicionamento com alta temperatura noturna (29°C) e controle (24°C) ao final da terceira semana de estresse no estágio de botão floral. Fayetteville - AR, 2011/2012. As folhas foram iluminadas a uma intensidade de 500 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e incubadas a temperaturas de 25 a 40°C por 5 minutos a cada temperatura antes da avaliação da eficiência quântica do PSII. LSD ($P > F$): 0.01(0.04)

Porém, nenhuma diferença foi observada entre os tratamentos na eficiência quântica do PSII quando o estresse foi aplicado no florescimento (Figura 33), mas a tendência de diminuição da Φ PSII em temperaturas superiores a 30°C continuou a mesma, assim como observado no estágio de botão floral (Figura 32). Resultados semelhantes foram observados por Snider et al. (2010), cujo aumento da temperatura da folha diminuiu a fluorescência da clorofila, sendo que a sensibilidade ao aumento da temperatura varia com o cultivar utilizado (SNIDER et al., 2010; ZHANG; SHARKEY, 2009).

O decréscimo da ΦPSII sob altas temperaturas ocorre devido à inibição da biossíntese de novas proteínas, na sua atividade e na indução da degradação de proteínas já existentes (KLUEVA et al., 2001), incluindo a clorofila (HENDRY et al., 1987). Observações feitas por Guo et al. (2006) em folhas de citros confirmaram que o aumento da temperatura levou a um decréscimo da eficiência fotoquímica do PSII através do aumento da degradação do conteúdo de clorofila *a* e *b*, proporcionando menor taxa fotossintética. Em trigo, o aumento da temperatura de 25 para 40-42°C também provocou uma diminuição na fluorescência da clorofila, na eficiência quântica do fotossistema II e reduziu drasticamente a capacidade fotossintética das folhas, reduziu o número de grãos por espiga e aumentou o número de afilhos inférteis (HASSAN, 2006).

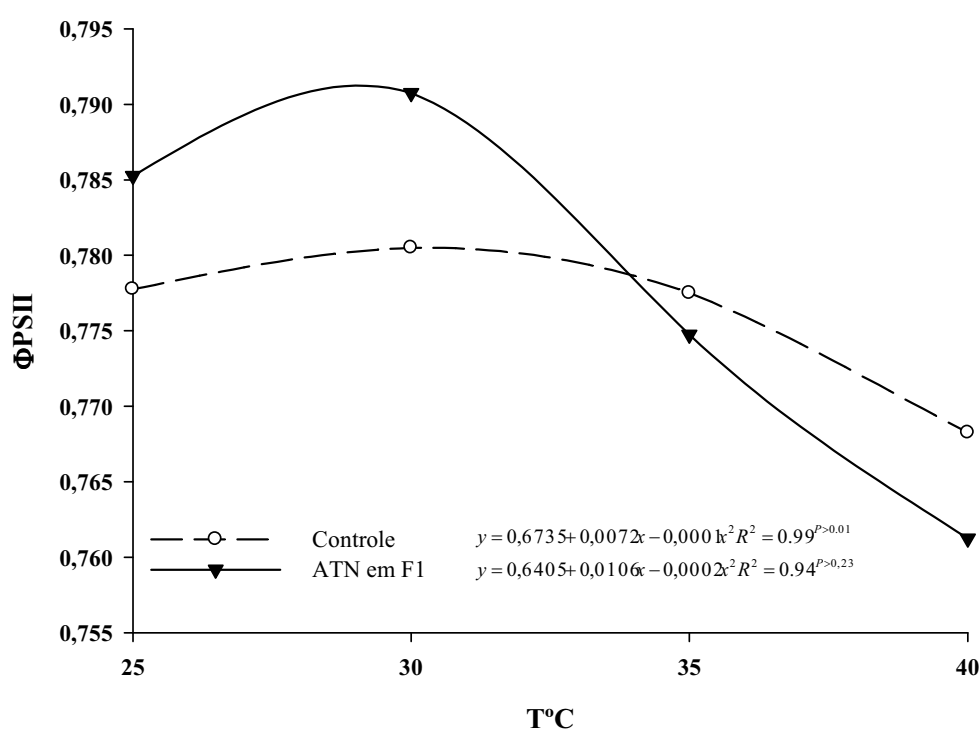


Figura 33. Efeito da temperatura na eficiência quântica do fotossistema II (ΦPSII) em folhas do algodoeiro submetidas ao pré-condicionamento com alta temperatura noturna (ATN) (29°C) e controle (24°C) ao final da terceira semana de estresse no estágio de florescimento. Após o fim do estresse de três semanas no tratamento ATN em B1, as plantas foram movidas para a temperatura controle. As folhas foram iluminadas a uma intensidade de 500 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e incubadas a temperaturas de 25 a 40°C por 5 minutos a cada temperatura antes

da avaliação da eficiência quântica do PSII. LSD ($P>F$): 0.024 (não significativo). Fayetteville – AR, 2011/2012.

O aumento da temperatura noturna no estágio de botão floral (B1) aumentou a taxa e antecipou a emissão de flores por planta (Figura 34). Do mesmo modo, o aumento da temperatura noturna no florescimento (F1) também aumentou a taxa de emissão de flores. A antecipação do período de florescimento quando as plantas foram submetidas ao estresse no início do período de botão floral é uma relação direta do aumento da temperatura mínima, o que aumenta também o número de graus-dia acumulados, antecipando, portanto, o evento do florescimento (MAUNEY, 1986). Para a média final (linhas horizontais –Figura 34), observou-se que ambos os tratamentos com altas temperaturas noturnas produziram maior número de flores, o que não resultou em maior número de estruturas reprodutivas, visto que o abortamento também aumentou (Figura 35).

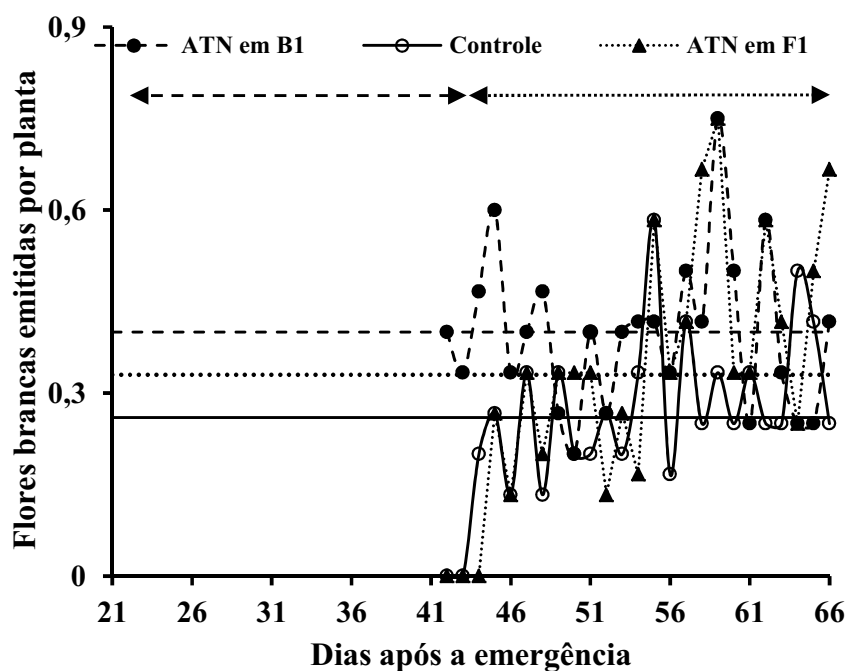


Figura 34. Número de flores brancas emitidas por planta de algodão em função do tempo após o aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas, a partir do início da fase de botão floral (ATN em B1) e do início do florescimento (ATN em F1). As setas indicam o período do início ao fim do estresse em cada estágio fenológico. Alta temperatura noturna foi de 29 °C e de 24°C para o tratamento controle. As linhas verticais representam a taxa média final de emissão de flores por planta. Fayetteville – AR, 2011/2012.

O aumento da emissão de flores no tratamento onde a temperatura noturna foi aumentada durante o estágio de botão floral pode ter sido uma consequência do aumento da taxa de abscisão de estruturas reprodutivas nesse tratamento (Figura 35). Entretanto, a alta temperatura noturna no período de florescimento não aumentou o número de estruturas abortadas, talvez porque o experimento foi finalizado logo após o final do período de estresse, três semanas após o início do florescimento, e conforme foi observado, o efeito sobre a abscisão ocorreu cerca de dez dias após o fim do estresse no estágio de botão floral (Figura 35). Zhao et al. (2005) reportaram maiores taxas de abscisão de botões florais e de frutos jovens em plantas que cresceram sob altas temperaturas (36/28°C) da emergência até os 79 dias após a emergência do que aquelas que cresceram sob temperaturas ótimas (30/22°C). Apesar de algumas diferenças entre o presente trabalho e do trabalho de Zhao et al. (2005), tais como a elevada temperatura diurna (32°C nesse experimento e 36°C no tratamento com alta temperatura noturna em ZHAO et al. 2005), e a época de avaliação da abscisão das estruturas reprodutivas (diariamente no presente trabalho e ao final do experimento no trabalho de ZHAO et al., 2005), o efeito no abortamento de estruturas reprodutivas foi semelhante.

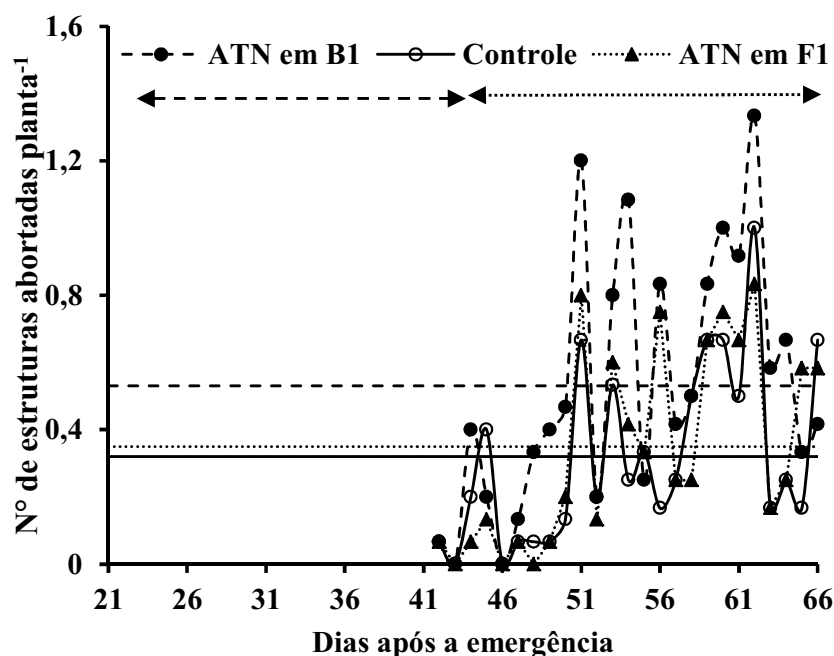


Figura 35. Número de estruturas reprodutivas abortadas (botão floral, flor ou fruto) por planta de algodão em função do tempo após o aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas, a partir do início da fase de botão floral (ATN em B1) e do início do florescimento (ATN em F1). As setas indicam o período do início ao fim do estresse em cada estágio fenológico. Alta temperatura noturna foi de 29 °C e de 24°C para o tratamento controle. As linhas verticais representam a taxa média final de abscisão de estruturas reprodutivas por planta. Fayetteville – AR, 2011/2012.

Os tratamentos submetidos a alta temperatura noturna emitiram maior número de flores por planta que o tratamento controle, porém, também foi maior a quantidade de estruturas abortadas (Tabela 19). Powell (1969) relatou que plantas de algodão mantidas sob altas temperaturas noturnas (29.4°C) foram incapazes de produzir flores com pólen viável, e o aumento da inviabilidade do pólen leva ao aumento do abortamento de estruturas reprodutivas, diminuindo a retenção de frutos (LIU et al., 2006).

Zeihner et al. (1994), em estudo de campo, demonstraram que a alta temperatura noturna (em média de 2-6°C maior que o controle) durante seis semanas a partir do florescimento reduziu a produção de matéria seca da planta, aumentou a abscisão de frutos em 28% e reduziu a produtividade de algodão em fibra em 45%. Apesar do tempo de estresse não ter sido tão longo quanto no experimento de Zeihner et al. (1994) (durante a noite toda e por 6 semanas), foi observado no presente experimento que o aumento da temperatura noturna por 4 horas e 3 semanas já foi o suficiente para alterar o padrão de florescimento e aumentar a taxa de abscisão (Figuras 34 e 35; Tabela 19).

Tabela 19. Número de flores emitidas e de estruturas abortadas por planta ao final do experimento, 66 dias após a emergência, em razão do aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas durante as fases de botão floral (B1) e do início do florescimento (F1). Fayetteville – AR, 2011/2012.

Tratamento	Flores emitidas por planta	Estruturas abortadas por planta*
Controle	6.73±0.13	6.38±0.26
ATN em B1	9.95±0.12	9.63±1.25
ATN em F1	8.54±0.20	7.98±0.65

*Inclui botões florais, flores e frutos jovens. Valores à direita representam o desvio padrão da média.

Apesar do número total de estruturas reprodutivas não ter sido afetado pelos tratamentos, o número de maçãs e as massas reprodutiva total e unitária foram (Tabela 20). O número de maçãs foi menor nas plantas que sofreram estresse com alta temperatura noturna a partir do início do estágio de botão floral (ATN em B1) do que aquelas mantidas sob temperatura normal, e isso ocorreu devido ao maior abortamento das estruturas mais velhas nesse tratamento, retardando o padrão de desenvolvimento dos frutos, diminuindo a matéria seca reprodutiva total e individual. Resultados semelhantes aos observados aqui foram registrados por Gipson e Johan (1968), cujo aumento da temperatura noturna até 26°C aumentou o ganho de massa seca do fruto em dois cultivares.

A temperatura diurna/noturna ideal para o máximo acúmulo de matéria seca nos órgãos reprodutivos é de 30/20°C. Temperaturas da ordem de 35/25°C reduziram sobremaneira a fixação e a matéria seca dos frutos remanescentes (REDDY et al., 1991). No presente experimento a temperatura foi de 32/24°C no tratamento controle, sendo a temperatura noturna similar aquela de 35/25°C no trabalho de Reddy et al. (1991), cujos autores relataram altas taxas de abscisão de frutos e baixa produção de matéria seca reprodutiva nesse tratamento, apesar da temperatura diurna ter sido maior no trabalho dos autores citados. Assim, no presente trabalho, mesmo no tratamento controle a temperatura noturna (24°C) já pode afetar negativamente a produção de matéria seca dos órgãos reprodutivos.

Tabela 20. Componentes de produção do algodoeiro ao final do experimento (66 DAE e 3 semanas após o início do florescimento) em razão do aumento da temperatura noturna (ATN) por três semanas durante as fases de botão floral (B1) e do início do florescimento (F1). Fayetteville – AR, 2011/2012.

Tratamento	Estruturas reprodutivas*	Maçãs	MS# reprodutiva total por planta	MS reprodutiva unitária
	---Número por planta---		-----g-----	
Controle	10.0	1.05 a	2.10 a	0.20 ab
ATN* em B1	9.75	0.20 b	1.13 b	0.11 b
ATN em F1	11.80	0.95 ab	2.77 a	0.27 a
LSD(P>F)	2.29(0.20)	0.75(0.05)	0.71(0.01)	0.09(0.01)

*Inclui botões florais e maçãs. #Matéria seca *Alta temperatura noturna.

O aumento da temperatura noturna durante a fase de botão floral diminuiu a viabilidade do pólen ao final do período de estresse nesse tratamento (Tabela 21), mas não houve efeito do aumento da temperatura noturna no período de florescimento sobre a viabilidade do pólen (ATN em F1 – Tabela 21). Para o tratamento que foi submetido á alta temperatura noturna no início da fase B1, e retornou para a temperatura normal por três semanas, no menor nível de probabilidade ($P>0.21$), mesmo após três semanas do estresse a viabilidade do pólen foi inferior que o controle, demonstrando que o efeito da alta temperatura noturna afetou não só as estruturas formadas durante o estresse, mas também as que foram formadas no período subsequente. A menor viabilidade do pólen pode ter sido a causadora da alta taxa de abscisão das estruturas reprodutivas no tratamento submetido á alta temperatura noturna em B1 (Tabela 19). Um estudo realizado por Kakani et al. (2005) concluiu que a temperatura em que foram incubados *in vitro* afetou a germinação dos grãos de pólen, sendo a máxima germinação atingida aos 30°C para os dois cultivares pesquisados, havendo, no entanto, diferença entre os cultivares na porcentagem máxima atingida. Apesar dos autores citados não terem testado o efeito da variação diurna/noturna da temperatura, foi possível observar que ela exerceu grande influência na viabilidade do pólen, e conforme observado neste experimento o aumento da temperatura de 32/24°C (diurna/noturna) para 32/29°C durante a fase de botão floral (pré-antese) reduziu a viabilidade do pólen.

Stewart (1986) demonstrou que a alta temperatura diurna, da ordem de 32°C, de 15-17 dias antes da antese aumentou a esterilidade dos grãos de pólen, bem como no presente trabalho foi observado que plantas mantidas sob alta temperatura noturna de 29°C por 21 dias do início do estágio de botão floral produziram pólen de baixa viabilidade. Além disso, Powell (1969) mostrou que plantas de algodão mantidas sob temperatura constante de 29,4°C tiveram baixa fixação de frutos, devido á baixa viabilidade do pólen, porém, mesmo quando polinizadas com pólen viável houve baixa fixação de frutos, sugerindo assim um efeito negativo da alta temperatura noturna não só na viabilidade do pólen como também na formação dos óvulos.

Por outro lado, a alta temperatura noturna durante o período de florescimento diminuiu o número de sementes por lóculo e o número de sementes por maçã

(Tabela 21). O maior número de sementes por lóculo nas plantas submetidas ao estresse na fase B1 pode ser devido à menor porcentagem de plantas com maçãs (20% em B1; 54% em F1 e 55% no tratamento controle), pois à medida que a carga de frutos é menor na planta, menor é a competição interna por recursos e, conseqüentemente, maior a fixação de flores (PATTERSON et al., 1978). Observações realizadas por sete anos correlacionaram as temperaturas mínimas (temperaturas noturnas) com o número de frutos fixados (FISHER, 1973).

A produtividade de algodão em fibra é definida pelo número de sementes por maçã pelo peso da fibra produzido em cada semente (LEWIS et al., 2000). Apesar do número de sementes por maçã ser primariamente determinado pelo genótipo (OOSTERHUIS; STEWART, 2004), foi observado no presente trabalho que a alta temperatura noturna, ou o ambiente, exerce alta influência nesse componente da produção. Assim, como resultado da alta temperatura noturna nos componentes de produção, quando ela ocorreu na fase de botão floral, o número de frutos produzidos diminuiu (Tabela 20); e quando incidida no estágio de florescimento o número de sementes por fruto foi reduzido (Tabela 21).

Tabela 21. Viabilidade do pólen em tratamentos com alta temperatura noturna (ATN) ao final da terceira semana do estágio B1 e F1, e número de sementes por lóculo e por maçã do algodoeiro. Fayetteville – AR, 2011/2012.

Tratamento	Viabilidade do pólen %		Sementes por lóculo	Lóculos por maçã*	Sementes por maçã
	em B1*	em F1*			
Controle	95.38 a	88.01	5.12 ab	4.50	23.0ab
ATN em B1	70.70 b	-	6.16 a	4.00	24.6 a
ATN em F1	-	88.76	4.05 b	4.07	16.5 b
LSD(P>F)	13.98(0.01)	5.98(0.21)	1.74(0.07)	0.70(0.24)	7.19(0.05)

Avaliação realizada 3 semanas após o início do estresse.* Média de 7 repetições para os tratamentos controle e ATN em F1 e de 3 repetições para o tratamento ATN em B1.

O conteúdo de amido, glicose e frutose não foi alterado pelo aumento da alta temperatura noturna na fase de botão floral, tanto na flor quanto na folha adjacente à flor (Figura 36). Entretanto, as flores provenientes de plantas mantidas sob alta temperatura

por três semanas tiveram uma redução de 29% no conteúdo de sacarose em relação ao tratamento controle (Figura 36). Essa redução no conteúdo de sacarose pode ter ocorrido devido ao aumento da respiração (Figura 30), e como consequência, aumentado a inviabilidade do pólen (Tabela 21) e a taxa de abscisão de estruturas reprodutivas, que culminaram no atraso do período de florescimento e no ganho de matéria seca reprodutiva (Tabela 20).

Resultados semelhantes aos observados neste trabalho foram publicados por Loka e Oosterhuis (2010), cujo aumento da temperatura noturna na fase de botão floral de 20 para 28°C reduziu o conteúdo de sacarose, porém, a redução ocorreu na quarta folha mais jovem expandida ao final de cada uma das três semanas avaliadas. Mesmo não sendo observada diferença no conteúdo de sacarose na folha adjacente á flor do presente experimento, na própria flor foi, o que é mais importante, uma vez que o destino final dos carboidratos é a nutrição das estruturas reprodutivas.

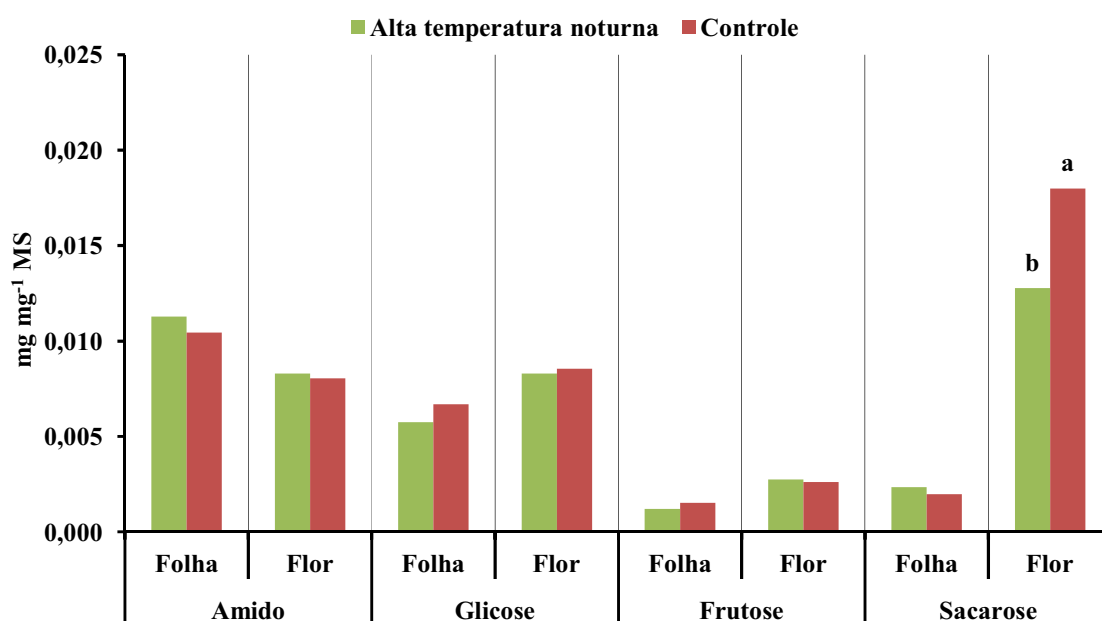


Figura 36. Teor de amido e carboidratos não estruturais na folha adjacente e na flor do algodoeiro submetido aos tratamentos com alta temperatura noturna (29°C por 4 horas) e controle (24°C) durante três semanas, a partir do aparecimento do primeiro botão floral DMS: 0.005112 ($P>0.04$). Fayetteville – AR, 2011/2012.

Poucas diferenças foram notadas em razão do aumento da alta temperatura noturna a partir do florescimento sobre o conteúdo de amido e de carboidratos em folhas e flores do algodoeiro, exceções feitas ao conteúdo de glicose e frutose na folha, sendo que o primeiro aumentou e o segundo reduziu em plantas submetidas ao estresse durante a fase de florescimento (Figura 37). Os resultados observados neste experimento parcialmente contrastam com os de Loka e Oosterhuis (2010), em que a alta temperatura noturna (28°C) reduziu o teor de hexose (frutose + glicose) na folha. Entretanto, é preciso salientar que o estágio fenológico em que as plantas foram submetidas ao estresse no presente trabalho foi no início do estágio de botão floral e no início do florescimento, enquanto que no trabalho de Loka e Oosterhuis (2010) as plantas permaneceram sob alta temperatura noturna durante três semanas do início do estágio de botão floral, assim como foi feito neste trabalho, mas diferentemente dos autores citados, não foi notada diferença no conteúdo de hexoses para este período.

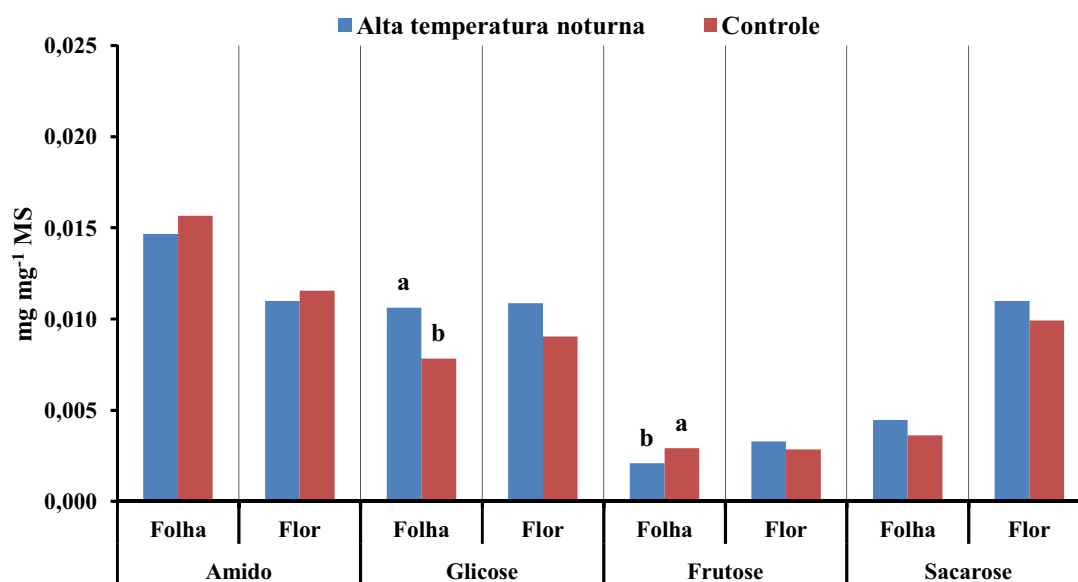


Figura 37. Teor de amido e carboidratos não estruturais na folha adjacente e na flor do algodoeiro submetido aos tratamentos com alta temperatura noturna (29°C por 4 horas) e controle (24°C) durante três semanas, a partir do aparecimento da primeira flor. DMS glicose: 0.002756 ($P>0.04$). DMS frutose: 0.000701 ($P>0.02$). Fayetteville – AR, 2011/2012.

Assim, pôde-se perceber que o período mais sensível á alta temperatura noturna foi no aparecimento do primeiro botão floral. É nesta fase (entre 20 e 25 dias antes da antese) que é estabelecido o número de óvulos por ovário, o número de anteras e a viabilidade do pólen (STEWART, 1986), sendo, portanto, uma fase crítica e determinante dos componentes de produção, principalmente do número de frutos fixados. Em outras culturas, tais como o arroz, observou-se que o aumento da temperatura noturna de 22 para 32°C reduziu o número de espiguetas fertilizadas e consequentemente a produtividade através da diminuição do conteúdo de carbono (fotossintatos) alocado para as espigas (CHENG et al., 2009; CHENG et al., 2010).

7 CONCLUSÕES

Não houve interação do espaçamento com a época de incidência da sombra sobre a produtividade e na qualidade da fibra, pois as folhas mais velhas, da parte inferior do dossel, necessitam de menos luz para atingirem a saturação luminosa. A sombra reduziu o potencial fotossintético da folha e o seu efeito foi maior que a diminuição causada pela idade da folha. Folhas jovens sombreadas não recuperaram a sua capacidade fotossintética, mesmo após receberem fluxo crescente de fótons.

O aumento da temperatura noturna durante a fase de botão floral aumentou a respiração das plantas, reduziu o conteúdo de sacarose na flor e, como consequência, diminuiu a viabilidade do pólen, causando abortamento prematuro das estruturas reprodutivas. Isso atrasa o período de florescimento e resulta em menor acúmulo de matéria seca reprodutiva.

8 REFERÊNCIAS

- ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. 7. ed. Piracicaba: Livroceres, 2005. 1142 p.
- ARRIAGA, F. J. et al. Cotton gas exchange response to standard and ultra-narrow row systems under conventional and no-tillage. **Communications in Biometry and Crop Science**, Warsaw, v. 42, n. 3, p. 42-51, 2009.
- ASHLEY, D. A.; DOSS, B. D.; BENNETT, O. L. Relation of cotton leaf area index to plant growth and fruiting. **Agronomy Journal**, Madison, v. 57, p. 61-64. 1965.
- BAKER, D. N.; MEYER, R. E. Influence of stand geometry on light interception and net photosynthesis in cotton. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 15-19, 1966.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p.
- BEDNARZ, C. W.; BRIDGES, D. C.; BROWN, S. M. Analysis of cotton yield stability across population densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 128-135, 2000.
- BEHERY, H. M. **Short fiber content and uniformity index in cotton**. Wallingford: CAB, 1993. (Review Article on Cotton Production Research, 4).
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. **Defasagem entre as produtividades real e potencial do algodoeiro herbáceo: limitações morfológicas, fisiológicas e ambientais**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1993. 108 p. (Documentos, 39).
- BELTRÃO, N. E. M. et al. **O algodão e tecnologias disponíveis no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1986. p. 62-63.

BELTRÃO, N. E. M. et al. Manejo cultural da cultura do algodoeiro herbáceo na região do cerrado. In: FUNDAÇÃO MT. **Mato Grosso: liderança e competitividade**. Campinas Grande, 1999. 182 p.

BENEDICT, C. R.; KOHEL, R. J.; SCHUBERT, A. M. Transport of ^{14}C -assimilates to cottonseed: integrity of funiculus during seed filling stage. **Crop Science**, Madison. v. 16, p. 23-27, 1976.

BISWAL, B. et al. **Leaf senescence and transformation of chloroplasts to gerontoplasts, photosynthesis**. In: EATON-RYE, J. J.; TRIPATHY, B. C.; SHARKEY, T. D. Dordrecht: Springer, 2012. p. 217-230.

BONDADA, B. R.; OOSTERHUIS, D. M. Ontogenic changes in epicuticular wax and chloroplast integrity of a cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf. **Photosynthetica**, Praha, v. 40, p. 431-436, 2002.

BONDADA, B. R.; OOSTERHUIS, D. M. Relationships between nitrogen content and net gas exchange components of a cotton leaf during ontogeny. **Photosynthetica**, Praha, v. 35, p. 631-635, 1998.

BOQUET, D. J. Cotton in ultra-narrow row spacing: plant density and nitrogen fertilizer rates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 279-287, 2005.

BRADOW, J. M.; DAVIDONIS, G. H. Effects of environment on fiber quality. In: STEWART, J. (Ed.). **Physiology of cotton**. Dordrecht: Springer, 2010. p. 227-245.

BRADOW, J. M.; DAVIDONIS, G. H. Quantitation of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist's perspective. **Journal of Cotton Science**, Cordova, v. 4, p. 34-64, 2000.

BOYKIN, J. C.; REDDY, K. N. The effects of narrow-row and twin-row cotton on fiber properties **Journal of Cotton Science**, Cordova, v. 14, p. 205-211. 2010.

BURKE, J. J.; WANJURA, D. V. Plant responses to temperature extremes. In: STEWART, J. (Ed.) **Physiology of cotton**. Dordrecht: Springer, 2010. 563 p.

BURKEY K. O.; WELLS R. Response of soybean photosynthesis and chloroplast membrane function to canopy development and mutual shading. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 97, p. 245-252, 1991.

BURKE, J. J.; VELTEN, J.; OLIVER, M. J. In vitro analysis of cotton pollen germination. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 359-368, 2004.

CHENG, W. et al. Combined effects of elevated $[\text{CO}_2]$ and high night temperature on carbon assimilation, nitrogen absorption, and the allocations of C and N by rice (*Oryza sativa* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, p. 1174-1181, 2010.

CHENG, W. et al. Interactions of elevated [CO₂] and night temperature on rice growth and yield. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 51-58, 2009.

CHIAVEGATO, E. J. **Efeito do ambiente e de cultivares nos componentes da produção nas características tecnológicas da fibra e do fio de algodão**. 1995. 115 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

CLAWSON, E. L. et al. Timing of maturity in ultra-narrow and conventional row cotton as affected by nitrogen fertilizer rate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 421-431, 2008.

COCHRANE, T. T.; COCHRANE, T. A. The vital role of potassium in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its link with potassium deficiency. **Plant Signaling Behavior**, Austin, v. 4, n. 3, p. 240-243, 2009.

CONSTABLE G. A.; RAWSON H. M. Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency in cotton. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 7, n. 7, p. 89-100, 1980.

CROZAT, Y.; JUDAIS, V.; KASEMSAP, P. Age-related abscission patterns of cotton fruiting forms: timing of the end of abscission susceptibility in relation to water content and growth of the boll. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 64, p. 261-272, 1999.

DONG, H. et al. Yield, quality and leaf senescence of cotton grown at varying planting dates and plant densities in the Yellow River Valley of China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 106-115, 2006.

DUSSERRE, J. et al. Effects of shading on sink capacity and yield components of cotton in controlled environments. **Agronomie**, Les Ulis, v. 22, p. 307-320, 2002.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FISHER, W. D. Association of temperature and boll. In: BELTWIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE, Phoenix, 1973. **Proceedings...** Memphis: Cotton Council of America, 1973. p. 72-73.

FLOOD, P. J.; HARBINSON, J.; AARTS, M. G. M. Natural genetic variation in plant photosynthesis. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 16, p. 327-335, 2011.

FOWLER, J. L.; RAY, L. L. Response of two cotton genotypes to five equidistant spacing patterns. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 5, p. 733-738, 1977.

FRANTZ, J. M.; COMETTI, N. N.; BUGBEE, B. Night temperature has a minimal effect on respiration and growth in rapidly growing plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 94, p. 155-166. 2004.

GALANOPOULOU-SENDOUKA, S. et al. Effect of population density, planting densities resulted in greater fruit shed. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 347-353, 1980.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: Fealq, 2002. 920 p.

GEIGER D. R.; SERVAITES J. C. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C-3 plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 45, p. 235-256, 1994.

GIPSON, J. R.; JOHAM, H. E. Influence of night temperature on growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). I. Fruiting and development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 292-295, 1968.

GIPSON, J. R.; RAY, L. L. Fiber elongation rate in five varieties of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as influenced by night temperature. **Crop Science**, Madison, v. 9, p. 339-341, 1969.

GODOY, A. S.; PALOMO, G. A. Genetic analysis of earliness in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). II. Yield and lint percentage. **Euphytica**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 161-166, 1999.

GONIAS E. D.; OOSTERHUIS, D. M.; BIBI, A. C. Light interception and radiation use efficiency of okra and normal leaf cotton isolines. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 72, p. 217-222, 2011.

GREER, D. H.; WEEDON, M. M.; WESTON, C. Reductions in biomass accumulation, photosynthesis in situ and net carbon balance are the costs of protecting *Vitis vinifera* 'Semillon' grapevines from heat stress with shade covering. **AoB Plants**, Oxford, p.1-13, 2011.

GUINN, G. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. **Crop Science**, Madison, v. 14, p. 291-293, 1974.

GUINN, G.; BRUMMETT, D. L. Concentrations of abscisic acid and indolacetic acid in cotton fruits and their abscission zones in relation to fruit retention. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 83, n. 1, p. 199-202, Jan. 1987.

GUO, Y. P.; ZHOU, H. F.; ZHANG, L. C. Photosynthetic characteristics and protective mechanisms against photooxidation during high temperature stress in two citrus species. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 108, p. 260-267, 2006.

- GWATHMEY, C. O.; CLEMENT, J. D. Alteration of cotton source–sink relations with plant population density and mepiquat chloride. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 101-107, 2010.
- GWATHMEY, C. O.; STECKEL, L. E.; LARSON, J. A. Solid and skip-row spacing for irrigated and non irrigated upland cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 672-680, 2008.
- HADI, H. et al. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to different levels of shade. **Journal of Agronomy**, Pakistan, v. 5, p. 595-599, 2006.
- HAIGLER, C. H. Physiological and anatomical factors determining fiber structure and utility. In: STEWART, J. M. et al. **Physiology of cotton**. Dordrecht: Springer, 2010. p. 33-47.
- HAIGLER, C. H. et al. Cultured ovules as models for cotton fiber development under low temperatures. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 95, p. 88-96, 1991.
- HASSAN, I. Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L. **Photosynthetica**, Praha, v. 44, p. 312-315, 2006.
- HEARN, A. B. Crop physiology. In: ARNOLD, M. H. (Ed.). **Agricultural research for development: the Namulonge contribution**. London: Cambridge University Press, 1976.
- HEITHOLT, J. J. Canopy characteristics associated with deficient and excessive cotton plant population densities. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1291-1297, 1994.
- HEITHOLT, J. J. Cotton boll retention and its relationship to lint yield. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 486-490, 1993.
- HEITHOLT, J. J.; PETTIGREW, W. T.; MEREDITH, W. R. Growth, boll opening rate, and fiber properties of narrow-row cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 590-594, 1993.
- HEITHOLT, J. J.; PETTIGREW, W. T.; MEREDITH, W. R. Light interception and lint yield of narrow-row cotton. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 728-733, 1992.
- HENDRIX, D. L. Rapid extraction and analyses of nonstructural carbohydrates in plant tissues. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 1306-1311, 1993.
- HENDRY, G. A. F.; HOUGHTON, J. D.; BROWN, S. B. The degradation of chlorophyll: a biological enigma. **New Phytologist**, Cambridge, v. 107, p. 255-302, 1987.
- HESKETH, J. D. Effects of light and temperature during plant growth on subsequent leaf CO₂ assimilation rates under standard conditions. **Australian Journal Biology Science**, Melbourne, v. 21, p. 235-241, 1968.

- HESKETH, J. D.; BAKER, D. N.; DUNCAN, W. G. Simulation of growth and yield in cotton: II. Environmental control of morphogenesis. **Crop Science**, Madison, v. 12, p. 436-439, 1972.
- HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, New York, v. 424, p. 901-908, 2003.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. **The water culture methods for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32 p.
- HODGES, H. F. et al. **Temperature effects on cotton**. Mississippi: Agricultural and Forestry Experiment Station, 1993.
- JASDANWALA, R. T.; SINGH, Y. D.; CHINOY, J. J. Auxin metabolism in developing cotton hairs. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 28, p. 1111-1116, 1977.
- JENKINS, J. N.; MCCARTY, J. C.; PARROTT, W. L. Effectiveness of fruiting sites in cotton: yield. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 365-369, 1990.
- JOST, P. H.; COTHREN, J. T. Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultra-narrow row spacing. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 430-435, 2000.
- KAKANI, V. G. et al. Differences in vitro pollen germination and pollen tube growth of cotton cultivars in response to high temperature. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n. 59-67, 2005.
- KAKANI, V. G. et al. Senescence and hyperspectral reflectance of cotton leaves exposed to ultraviolet-B radiation and carbon dioxide. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 121, p. 250-257, 2004.
- KASEMSAP, P.; CROZAT, Y.; THANISAWANYANGKURA, S. Response of cotton leaf photosynthesis to differential growth light environment. **Kasetsart Journal**, Bangkok, v. 31, p. 143-148, 1997.
- KIM, J. I. et al. YUCCA6 over-expression demonstrates auxin function in delaying leaf senescence in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 3981-3992, 2011.
- KITTOCK, D. L. et al. Plant population and plant height effects on pima cotton lint yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 534-538, 1986.
- KO, J.; PICCINNI, G. Characterizing leaf gas exchange responses of cotton to full and limited irrigation conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 112, p. 77-89, 2009.

- KO, J. et al. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (K_c) of cotton and wheat. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1691-1697, 2009.
- KRIEG, D. R. Leaf age-gas exchange characteristics. In: BELTWIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCES, 1988, New Orleans. **Proceedings...** New Orleans: National Cotton Council, 1988. p. 55-57.
- KRIEG, D. R.; SUNG, J. F. M. Source-sink relations as affected by water stress during boll development. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, J. McD. (Ed.). **Cotton physiology**. Memphis: Cotton Foundation Publisher, 1986. p. 73-77.
- KRIZEK, D. T. Photosynthesis, dry matter production and growth in CO₂: enriched atmospheres. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, J. McD. (Ed.). **Cotton physiology**. Memphis: Cotton Foundation Publisher, 1986. p. 193-225.
- LAWRENCE, C.; HOLADAY, A. S. Effects of mild night chilling on respiration of expanding cotton leaves. **Plant Science**, Amsterdam, v. 157, p. 233-244, 2000.
- LEVI, A. et al. Photosynthesis of cotton near-isogenic lines introgressed with QTLs for productivity and drought related traits. **Plant Science**, Amsterdam, v. 177, n. 88-96, 2009.
- LEWIS, H.; MAY, L.; BOURLAND, F. Cotton yield components and yield stability. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE, 2000, Memphis. **Proceedings...** Memphis: Cotton Council of America, 2000. p. 532-536.
- LEYMARIE, J.; VAVASSEUR, A.; LASCÈVE, G. CO₂ sensing in stomata of abi1-1 and abi2-1 mutants of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 36, p. 539-543, 1998.
- LIM, P.; NAM, H. Aging and senescence of the leaf organ. **Journal of Plant Biology**, Amsterdam, v. 50, p. 291-300, 2007.
- LIM, P. O.; KIM, H. J.; NAM, H. G. Leaf senescence. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 115-136, 2007.
- LIU, J. et al. Protein degradation and nitrogen remobilization during leaf senescence. **Journal of Plant Biology**, Amsterdam, v. 51, p. 11-19, 2008.
- LIU, Z. et al. Screening for high-temperature tolerant cotton cultivars by testing in vitro pollen germination, pollen tube growth and boll retention. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 48, n. 6, p. 706-714, 2006.
- LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M. Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 68, p. 258-263, 2010.

LOOMIS, R. S.; WILLIAMS, W. A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, Madison, v. 3, p. 67-72, 1963.

LORENZI, H. **Manual de identificação e de controle de plantas daninhas**: plantio direto e convencional. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2000. 379 p.

LU, C.; ZHANG, J. Modifications in photosystem. II photochemistry in senescent leaves of maize plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 1671-1679. 1998.

MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1979. v. 1, p. 117-163.

MALAVOLTA, E. A.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 p.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 5, p. 313-317, 2001.

MAUNEY, J. R. Floral initiation of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. in response to temperatures. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 17, p. 452-459, 1966.

MAUNEY, J. R. Vegetative growth and development of fruiting sites. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, J. M. **Cotton physiology**. Memphis: Cotton Foundation, 1986. p. 11-28. (Reference Book Series, 1).

MEREDITH JUNIOR, W. R. Improving fiber strength through genetics and breeding. In: BENEDICT, C. R. (Ed.). In: COTTON FIBER CELLULOSE CONFERENCE, Memphis, 1992. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 1992. p. 289-302.

MESSINGER, S. M.; BUCKLEY, T. N.; MOTT, K. A. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO₂. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 140, p. 771-778, 2006.

MOHAMMED, A. R.; TARPLEY, L. **Effects of high night temperature on crop physiology and productivity**: plant growth regulators provide a management option. InTech, 2011. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/global-warming-impacts-case-studies-on-the-economy-human-health-and-on-urban-and-natural-environments/effects-of-high-night-temperature-on-crop-physiology-and-productivity-plant-growth-regulators-provid>>. Acesso em: 02 jan. 2012.

MOHAMMED, A. R.; TARPLEY, L. High night time temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 999-1008, 2009.

MOORE, J. F. Cotton classification and quality. In: GLADE JUNIOR, E. H.; MEYER, L. A.; STULTS, H. (Ed.). **The cotton industry in the United States**. Washington, DC: USDA-ERS, 1996. p. 51-57.

MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1976. 376p.

MURAMOTO, H.; HESKETH, J. D.; ELMORE, C. D. Leaf growth, leaf aging and leaf photosynthetic rates of cotton plants. In: BELTWIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE, Dallas, 1967. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 1967. p. 161-165.

OKAZAKI, K. et al. The plastid division1 and 2 components of the chloroplast division machinery determine the rate of chloroplast division in land plant cell differentiation. **The Plant Cell**, Waterbury, v. 21, p. 1769-1780, 2009.

OOSTERHUIS, D. M. Growth and development of a cotton plant. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos. (Ed.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p. 35-55.

OOSTERHUIS, D. M.; STEWART J. M. Physiological basis of yield and environmental adaptation in cotton. In: NGUYEN, H. T.; BLUM, A. **Physiology and biotechnology integration for plant breeding**. New York: Marcel Dekker, 2004. p. 363-401.

ORT D. R.; BAKER N. R. Consideration of photosynthetic efficiency at low light as a major determinant of crop photosynthetic performance. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 26, p. 555-565, 1988.

PASTERNAK, D.; WILSON G, L. Illuminance, stomatal opening, and photosynthesis in sorghum and cotton. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 24, p. 527-532, 1973.

PATTERSON, L. L.; BUXTON, D. R.; BRIGGS, R. E. Fruiting in cotton as affected by controlled boll set. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 118-122, 1978.

PATTERSON, D. et al. Photosynthesis in relation to leaf characteristics of cotton from controlled and Field environments. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 59, p. 384-387, 1977.

PENG, S.; KRIEG, D. R. Single leaf and canopy photosynthesis response to plant age in cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v.113, p. 704-708, 1991.

PERKINS JUNIOR, H. H.; ETHRIDGE, D. E.; BRAGG, K. Fiber. In: KOHEL, R. J.; LEWIS, C. F. (Ed.). **Cotton**. Madison: ASA, 1984. p. 437-509.

PERRY, S. W.; KRIEG, D. R.; HUTMACHER, R. B. Photosynthetic rate control in cotton. I. Photorespiration. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 73, p. 662-665, 1983.

PETERSEN, K. L.; MORESHET, S.; FUCHS, M. Stomatal responses of field-grown cotton to radiation and soil moisture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 1059-1065, 1991.

PETTERSEN, R. I.; TORRE, S.; GISLERØD, H. R. Effects of leaf aging and light duration on photosynthetic characteristics in a cucumber canopy. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, p. 82-87, 2010.

PETTIGREW, W. T. Environmental effects on cotton fiber carbohydrate concentration and quality. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 4, p. 1108-1113, 2001.

PETTIGREW, W. T. Cotton genotypic variation in the photosynthetic response to irradiance. **Photosynthetica**, Praha, v. 42, p. 567-571, 2004a.

PETTIGREW, W. T. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 377-383, 2004b.

PETTIGREW, W. T. Source-to-sink manipulation effects on cotton lint yield and yield components. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 731-735, 1994.

PETTIGREW, W. T.; TURLEY, R. B. Variation in photosynthetic components among photosynthetically diverse cotton genotypes. **Photosynthesis Research**, Amsterdam, v. 56, p. 15-25, 1998.

POTER, P. M.; SULLIVAN, M. J.; HARVEY, L. H. Cotton cultivar response to planting date on the southeastern coastal plain. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 9, n. 223-227, 1996.

POWELL, R. D. Effect of temperature on boll set and development of *Gossypium hirsutum*. **Cotton Growing Review**, London, v. 46, p. 29-36, 1969.

PRASAD, P. V. V.; DJANAGUIRAMAN, M. High night temperature decreases leaf photosynthesis and pollen function in grain sorghum. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 38, p. 993-1003, 2011.

RADIN, J. W.; BOYER, J. S. Control of leaf expansion by nitrogen nutrition in sunflower plants: Role of hydraulic conductivity and turgor. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 69, p. 771-775, 1982.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; MCKINION, J. M. Can cotton crops be sustained in future climates? In: BELTWIDE COTTON CONFERENCES, 1996, Memphis. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 1996. p. 1189-1196.

REDDY, V. R.; REDDY, K. R.; ACOCK, B. Carbon dioxide and temperature interactions on stem extension, node initiation, and fruiting in cotton. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 55, p. 17-28, 1995.

REDDY, V. R.; REDDY, K. R.; BAKER, D. N. Temperature effect on growth and development of cotton during the fruiting period. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 211-217, 1991.

REDDY, K. R. et al. Interactive effects of ultraviolet-B radiation and temperature on cotton physiology, growth, development and hyperspectral reflectance. **Photochemistry and Photobiology**, Hoboken, v. 79, p. 416-427, 2004.

REEVES, D. W.; DELANEY, D. P. Conservation rotations for cotton production and carbon storage. In: VAN SANTEN, E. (Ed.). Making conservation tillage conventional: building on 25 years of research. In: ANNUAL SOUTHERN CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 25., Auburn, 2002. **Proceedings...** Auburn: Auburn University, 2002. (Special Report, 1).

RITCHIE, G. L.; WHITAKER, J. R.; BEDNARZ, C. W.; HOOK, J. E. Subsurface drip and overhead irrigation: a comparison of plant boll distribution in upland cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 1336-1344, 2009.

ROELFSEMA, M. R. G.; HEDRICH, R. In the light of stomatal opening: new insights into 'the Watergate'. **New Phytologist**, Cambridge, v. 167, p. 665-691. 2005.

ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia do algodoeiro. In: MORESCO, E. (Org.) **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. 392 p.

ROUSSOPOULOS, D.; LIAKATAS, A.; WHITTINGTON, W. J. Cotton responses to different light-temperature regimes. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 131, n. 03, p. 277-283, 1998.

RYAN, M. G. Effects of climate change on plant respiration. **Ecological Applications**, Washington, DC, v. 1, n. 2, p. 157-167, 1991.

SASSENATH-COLE, G. F. Dependence of canopy light distribution on leaf and canopy structure for two cotton (*Gossypium*) species. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 77, p. 55-72, 1995.

SASSENATH-COLE, G. F.; ORT, D. R. The relationship between inhibition of photosynthesis at low temperature and the inhibition of photosynthesis after rewarming in chill-sensitive tomato. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 28, p. 457-465, 1990.

SASSENATH-COLE, G. F.; LU, G.; HODGES, H. F.; McKINION, J. M. Photon flux density *versus* leaf senescence in determining photosynthetic efficiency and capacity of

Gossypium hirsutum L. leaves. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 36, p. 439-446, 1996.

SCHUBERT, A. M. et al. Growth and development of the lint fibers of Pima S-4 cotton. **Crop Science**, Madison, v. 16, p. 539-543, 1976.

SCHLÜTER, U. et al. Photosynthetic performance of an Arabidopsis mutant with elevated stomatal density (sdd1-1) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, p. 867-874, 2003.

SHIMAZAKI K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M. KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 219-247, 2007.

SHU, H. et al. Sucrose metabolism in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fibre under low temperature during fibre development. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 31, p. 61-68, 2009.

SILVA, A. V. **Caracteres morfológicos e produtivos do algodoeiro em diferentes configurações de semeadura**. 2007. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-08082007-171540/>>. Acesso em: 14 fev. 2012.

SILVA, A. V. Espaçamentos ultra-adensados, adensados e convencional com densidade populacional variável em algodoeiro. 2002. 99 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. van. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 100, 1996. p. 107-111.

SMITH, J. E.; LONGSTRETH, D. J. Leaf expansion and carbon assimilation in cotton leaves grown at two photosynthetic photon flux densities. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 81, p. 711-717, 1994.

SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M.; KAWAKAMI, E. M. Genotypic differences in thermotolerance are dependent upon prestress capacity for antioxidant protection of the photosynthetic apparatus in *Gossypium hirsutum*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 138, p. 268-277, 2010.

STEWART, J. McD. Integrated events in the flower and fruit. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, McD. (Ed.). **Cotton physiology**. Memphis: The Cotton Foundation, 1986. p. 261-300.

SUN, C. et al. Single leaves photosynthetic characteristics of two insect-resistant transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties in response to light. **Photosynthetica**, Praha, v. 47, p. 399-408, 2009.

TAHA, M. A. et al. Heat induced sterility in cotton sown during early April in West Punjab. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 17, p. 189-194, 1981.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 5th. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 782 p.

THAKER, V. S.; SAROOP, S.; SINGH, Y. D. Physiological and biochemical changes associated with cotton fibre development. III. Indolyl-3-acetaldehyde dehydrogenase. **Biochemie und Physiologie der Pflanzen**, Jena, v. 181, p. 339-345, 1986.

THAYER, S. S. et al. Protein turnover during senescence. In: THOMSON, W. W.; NOTHNAGEL, E.A.; HUFFAKER, R. C. (Ed.). **Plant senescence: its biochemistry and physiology**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 1987. p. 71-80.

TOOMEY, S.; GIES, H. P.; ROY, C. UVR protection offered by shade cloths and polycarbonates. **Radiation Protection in Australia**, Kogarah, v. 13, p. 50-54, 1995.

VORIES, E. D. et al. Three-year comparison of conventional and ultra narrow row cotton production systems. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 17, p. 583-589, 2001.

XU, L. K.; HSIAO, T. C. Predicted versus measured photosynthetic water-use efficiency of crop stands under dynamically changing field environments. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2395-2411, 2004.

XU, Z. et al. Photosynthetic potential and its association with lipid peroxidation in response to high temperature at different leaf ages in maize. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 30, p. 41-50, 2011.

WARREN, C. R. Stand aside stomata, another actor deserves centre stage: the forgotten role of the internal conductance to CO₂ transfer. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, p. 1475-1487, 2008.

WELLS, R.; STEWART, A.M. Morphological alterations in response to management and environment. In: STEWART, J. (Ed.). **Physiology of cotton**. London: Springer, 2010. 563 p.

WENDEL, J. F.; BRUBAKER, C. L.; SEELANAN, T. The origin and evolution of *Gossypium*. In: STEWART, J. (Ed.). **Physiology of cotton**. London: Springer, 2010. 563 p.
WHITEHEAD, W. F.; SINGH, B. P. Leaf age affects gas exchange in okra. **HortScience**, Alexandria, v. 30, p. 1017-1019, 1995.

WILD, A.; WOLF, G. The effect of different light intensities on the frequency and size of stomata, the size of cells, the number, size and chlorophyll content of chloroplasts in the mesophyll and the guard cells during the ontogeny of primary leaves of *Sinapis alba*. **Pflanzen physiology**, Stuttgart, v. 97, p. 325-342, 1980.

WILKINS, T. A. Role of proton pumps in cotton fiber development. In: CONFERENCE OF COTTON FIBER CELLULOSE: STRUCTURE, FUNCTION, AND UTILIZATION, 1992, Memphis. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 1992. p. 141-152.

WOOLHOUSE, H. W. Regulation of senescence in the chloroplast. In: THOMSON, W.W.; NOTHNAGEL, E. A.; HUFFAKER, R. C. (Ed.). **Plant senescence: its biochemistry and physiology**. Rockville: American Society of Plant Physiologists. 1987. p. 132-145.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D. M. Canopy leaf area development and age-class dynamics in cotton. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 451-456, 1992.

WULLSCHLEGER S. D.; OOSTERHUIS D. M. Photosynthesis of individual field-grown cotton leaves during ontogeny. **Photosynthesis Research**, Amsterdam, v. 23, p. 23, 163-170, 1990a.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D. M. Photosynthetic and respiratory activity of fruiting forms within the cotton canopy. **Plant Physiology**, Sunderland, v. 94, n. 2, p. 463-469, 1990b.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS D. M. Water use efficiency as a function of leaf age and position within the cotton canopy. **Plant and Soil**, The Hague, v. 120, p. 79-85, 1989.

YATES, D. J. Shade factors of a range of shade cloth materials. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 257, p. 201-217, 1989.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. C. Calagem e adubação. In: MORESCO, E. (Org.). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: FACUAL, 2006. 392 p.

ZEIGER, E.; FIELD, C. Photocontrol of the functional coupling between photosynthesis and stomatal conductance in the intact leaf. **Plant Physiology**, Sunderland, v. 70, p. 370-375, 1982.

ZEIHER, C. A. et al. The effect of night temperature on cotton reproductive development. In: SILVERTOOTH, J. (Ed.). **Cotton**. Tucson: University of Arizona, 1994. p. 89-96.

ZHANG, R.; SHARKEY, T. Photosynthetic electron transport and proton flux under moderate heat stress. **Photosynthesis Research**, Amsterdam, v. 100, p. 29-43, 2009.

ZHANG, H.; SHARIFI, M.; NOBEL, P. Photosynthetic characteristics of sun versus shade plants of *Encelia farinoseas* affected by photosynthetic photon flux density, intercellular CO₂ concentration, leaf water potential, and leaf temperature. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 22, p. 833-841, 1995.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton responses to shade at different growth stages: nonstructural carbohydrate composition. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 1196-1203, 1998a.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. Physiologic and yield responses of shaded cotton to the plant growth regulator PGR-IV. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 17, p. 47-52, 1998b.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton responses to shade at different growth stages: growth, lint yield and fibre quality. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 36, p. 27-39, 2000.

ZHAO, D. et al. Physiological causes of cotton fruit abscission under conditions of high temperature and enhanced ultraviolet-B radiation. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 124, n. 2, p. 189-199, 2005.

ZHOU, X. et al. Difference of photosynthetic characteristics of different height leaves in the cotton flower-boll development phase in Huaibei area. **Transactions of Atmospheric Sciences**, Nanjing, v. 32, n. 5, p. 673-676, 2009.

9 APÊNDICE



